

Sistema de sensoriamento utilizando tecnologias IoT para monitoramento da água aplicada a uma embarcação autônoma

Ylanna Bandeira Lima¹

Centro de Ciências Computacionais (C3)
Universidade Federal de Rio Grande (FURG)
Rio Grande, Brasil
ylannalima99@gmail.com

Marcelo Rita Pias²

Centro de Ciências Computacionais (C3)
Universidade Federal de Rio Grande (FURG)
Rio Grande, Brasil
pias.marcelo@gmail.com

Resumo—A necessidade de monitorar a qualidade da água em regiões costeiras e estuarinas se dá principalmente pela importância que esses ecossistemas são caracterizados. A contribuição na conservação utilizando Internet das Coisas (*Internet of Things-IoT*) para o monitoramento, aquisição de dados e controle do sistema em operação pode auxiliar a detectar possíveis mudanças e tomar medidas necessárias. Para isso, propõe-se o desenvolvimento de um dos módulos de Sensoriamento e Comunicação que será implementado em uma embarcação de superfície autônoma e permitirá a execução de levantamentos de dados ambientais no ambiente aquático de forma barata, rápida e segura.

O sistema é composto com um conjunto de sensores que serão responsáveis pela coleta dos dados oceanográficos. O conjunto de hardware e sensores, serão integrados na forma de uma plataforma IoT, enviando dados pela Internet e sendo possível a visualização em tempo real das medidas durante seu funcionamento, geração de gráficos e armazenamento dos dados através da servidor denominado *ThingSpeak*. Todo material, seguindo a filosofia open-source, será disponibilizado na Internet para que se estabeleçam projetos na área da automação para o mar, impulsionando o surgimento de novos projetos e contribuindo para a importância do monitoramento das águas na Década do Oceano.

Palavras-chave—Monitoramento de Água, Internet das Coisas, Solução Inteligente, Armazenamento em Nuvem

I. INTRODUÇÃO

A aquisição de dados ambientais e estudos oceanográficos são essenciais para uma caracterização e análise potencial dos impactos ocasionados pelas atividades humanas. Este monitoramento auxilia na composição de uma matriz de riscos ambientais com o monitoramento mais preciso de eventos relevantes, probabilidade de ocorrências, nível de impacto e possíveis ações futuras de mitigação. No setor do petróleo e gás, por exemplo, a necessidade de respostas rápidas a situações como vazamentos de óleo, instrumentação à disposição para apoio em inspeções portuárias ou monitoramento da qualidade da água em áreas adjacentes se mostrariam essenciais para garantir o desenvolvimento de todas as atividades com segurança e responsabilidade.

Programa Tecnologias Digitais para os Ecossistemas Costeiro e Oceânico na Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustível, PRH-22

O desenvolvimento da tecnologia não começa do zero. Esta pesquisa integra conhecimentos e experiências de projetos relacionados, novas ciências e um caso de uso claro voltado para a comunidade. Na última década, muitas novas tecnologias meteorológicas e hidrológicas *in situ* foram desenvolvidas e podem fazer interface com redes RTRM (sistemas de monitoramento remoto em tempo real) econômicas. Com os avanços nas tecnologias de sensores, computação móvel e comunicações sem fio agora permitem que os cientistas da qualidade da água adquiram, processem e transmitem uma série de dados [8].

Alguns projetos de pesquisa que estudam e aplicam essa área voltadas a qualidade de água e veículos de superfície autônoma serviram como base para a construção da proposta do trabalho, entre eles a estação meteorológica que foi aplicado a uma embarcação não tripulada, com fins de monitoração ambiental desenvolvido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro [1]. Esta estação é composta de sensores que medem quatro variáveis, que são temperatura, pressão, umidade e índice pluviométrico. Neste projeto também foi desenvolvido um software de monitoramento destas mesmas variáveis através de comunicação sem fio. Onde através desse programa é possível visualizar a exibição das medidas durante seu funcionamento, assim como geração dos gráficos e armazenamento dos dados. Outro projeto universitário na mesma linha de pesquisa, é o veleiro robótico autônomo, desenvolvido pelo Laboratório Natalnet da Universidade Federal do Rio Grande do Norte [16] no qual o sistema embarcado utiliza-se uma arquitetura de hardware e software que permite monitoramento através da aquisição e análise de dados em tempo real, relativos à qualidade da água. Utiliza-se um Raspberry Pi (Rpi) modelo B, como computador central de baixo custo e que suporta a plataforma LINUX. Carregado de sensores de temperatura, PH, condutividade, POR e oxigênio dissolvido, o sistema de acionamento permite que os sensores sejam inseridos e retirados da água a partir de tempos determinados.

O estudo do uso da Internet das Coisas (IoT) é amplamente desenvolvido, especialmente em relação à sua capacidade de

apoiar os seres humanos em todas as suas atividades, uma delas no contexto do meio ambiente. Pesquisa conduzida por [19], desenvolveu o projeto capaz de fornecer uma imagem mais detalhada da qualidade da água do fluxo dos rios existentes na Indonésia, implementando no ASV, sensores de temperatura, turbidez, pH e oxigênio dissolvido, além de sensor GPS (NEO-M8) e motor de propulsão. Todos os componentes controlados usando Arduino Mega, enquanto a comunicação entre dispositivos com receptores usando telemetria sem fio 915MHz. Onde pode ser controlada até uma distância de 2 km da unidade de controle. Além de fornecer vasta gama de informações e monitoração, a utilização desses equipamentos, fornece capacidade de realizar operações menos onerosas do que navios tripulados, desta forma aumentando a diversidade temporal e espacial da coleta de dados. Com o grande crescimento da internet das coisas, na questão disponibilidade dos dados de sensores para nuvem e acesso remoto a atuadores, este trabalho tem como objetivo montar um sistema de sensoriamento capaz de realizar leituras da qualidade da água com capacidade de fornecimento das informações dos sensores para uma plataforma na nuvem e acesso remoto.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Plataforma embarcação autônoma ACQUABLUE

Dada a aplicação do sistema proposto, é apresentada uma embarcação autônoma de superfície chamada ACQUABLUE, plataforma que terá embarcado o sistema de sensoriamento utilizando tecnologias IoT para monitoramento da qualidade da água.

O projeto da embarcação ACQUABLUE é desenvolvida por uma equipe realizada pelos estudantes da Universidade Federal de Rio Grande (FURG) com apoio financeiro do Programa Tecnologias Digitais para os Ecossistemas Costeiro e Oceânico na Indústria do Petróleo, Gás e Bicombustível, O PRH-22. Se trata do desenvolvimento de um sistema com navegação autônoma, com propósito de monitoramento da qualidade da água em regiões costeiras e estuarinas em tempo real. A contribuição da conservação desses locais, com a capacidade de detectar possíveis mudanças e tomar medidas necessárias a acidentes como, poluições, derramamentos de petróleo, por exemplo, é de grande importância já que são locais que são caracterizados por possuir elevada produção biológica, grande diversidade de espécies e forma de vida.

A primeira versão está sendo desenvolvida pela equipe e foi dividida em partes para que futuramente fosse integrados todos os sistemas. A arquitetura proposta neste trabalho será acoplado na embarcação de modo a facilitar a obtenção de dados dos parâmetros da qualidade da água. A Figura 1 mostra como foi dividido os sistemas da ACQUABLUE, de modo que o agrupamento de todas as partes implementadas, gere uma plataforma automatizada, de baixo custo e que possa contribuir com o monitoramento de um estuário, por exemplo, recebendo dados e com capacidade de observa-los remotamente de qualquer lugar.

Percebe-se, a partir da Figura 2 que o sistema proposto está incluído diretamente nos sistemas de desenvolvimento

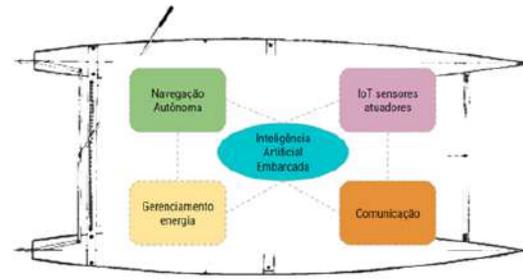


Fig. 1. Arquitetura da Embarcação

da embarcação nos módulos de Sensoriamento da água e no de Comunicação dos dados. A elaboração do ACQUABLUE, segue a filosofia open-source, onde será disponibilizado na internet para que se estabeleçam projetos na área da automação para o mar, impulsionando o surgimento de novos projetos e contribuindo para a importância do monitoramento das águas na Década do Oceano.

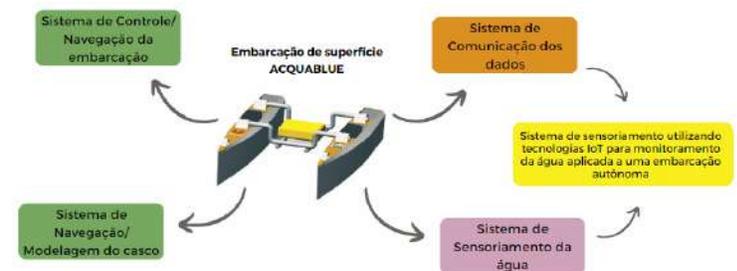


Fig. 2. Módulos de desenvolvimento da embarcação

B. Monitoramento de estuários e regiões costeiras

O crescimento da população na região costeira tem intensificado a degradação dos seus ecossistemas, aumentando a degradação dos recursos hídricos costeiros. Os estuários e as regiões costeiras são regiões de grande produtividade primária, além disso, outro fator relevante é a questão socioeconômica dessas regiões, uma vez que grande parte da ocupação e desenvolvimento humano se deu a partir das margens de estuários devido as condições geográficas, mas a causa desse crescimento desordenado da população ao seu redor, acarretou muitos impactos [11]. A despeito disso, costumam ser indevidamente aproveitados pelo homem, que neles lançam efluentes domésticos e industriais, alteram suas margens aterrando-as com os mais diversos propósitos e desmatam áreas de manguezais, que são ecossistemas frágeis e de grande importância para o sistema estuarino e como área de berçário, reprodução de alimentação e crescimento de várias espécies de animais marinhos [14]. E o resultado de todas essas alterações costumam ser o comprometimento da qualidade das águas e da vida marinha nesses ambientes [15].

Os estuários constituem um importante elo na ecologia global, uma vez que é através destes ambientes que passa a maior parte da matéria originada da decomposição intempérica

dos continentes em direção aos oceanos [11]. Diante desse cenário, a importância do monitoramento dessas regiões são significativas. Porém, uma das maiores dificuldades para o controle desses ambientes é devido sua logística e os custos elevados, em que uma alternativa seria utilizar tecnologias de robótica ambiental, para mitigar os riscos no meio ambiente [4].

Poluição em macro e microescala, contaminantes industriais e aumento do volume de lixo são os principais desafios enfrentados pelas comunidades locais ao redor da Lagoa dos Patos. Esta lagoa, no sul do Brasil, é uma das maiores lagoas costeiras do mundo, e juntamente com o seu estuário, tem uma grande importância ambiental, econômica e social para este estado e para os sistemas que dela dependem [13].

Portanto, a necessidade de uma tecnologia de aquisição de dados remota que seja eficiente no sensoriamento de variáveis hidrológicas em escalas temporais e espaciais. Um sistema de sensoriamento acoplado em uma embarcação autônoma de monitoramento em tempo real, tem a vantagem de que a vigilância pode ser realizada para detectar rapidamente mudanças e tendências em indicadores críticos. Esse monitoramento *in situ* adquirido remotamente fornece um aviso prévio importante aos tomadores de decisão para que possam responder de forma adequada [10]. A área alvo para o protótipo do sistema de sensoriamento utilizando tecnologias IoT aplicada a uma embarcação autônoma compreende a área delimitada na Figura 3.

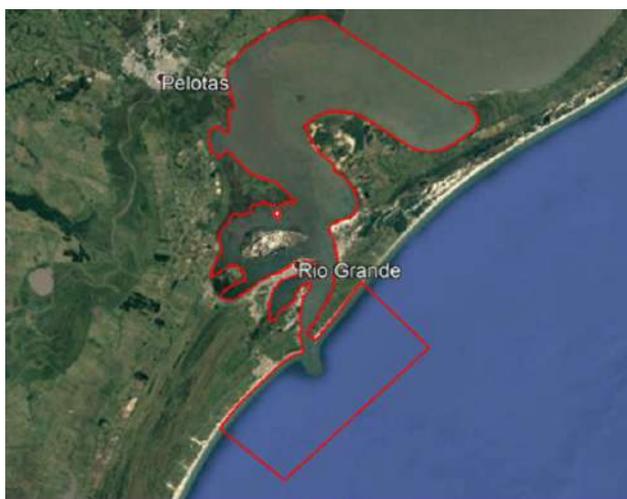


Fig. 3. Localização da área do Piloto na parte sul da Lagoa dos Patos. A linha vermelha corresponde ao estuário da Lagoa dos Patos (ELP) e região adjacente à costa. O marcador delimita a área do local para o piloto deste projeto.

C. Internet das Coisas

Existem muitas discordâncias em relação a definição de IoT, não havendo, portanto, um conceito único que possa ser considerado universal. O que todas as concepções têm em comum é que elas se concentram em como computadores, sensores e objetos interagem uns com os outros e processam informações/dados em um contexto de hiperconectividade [9].

Para [2], "O que hoje é chamado de internet das coisas (*Internet of Things*) é um conjunto de tecnologias e protocolos associados que permitem que objetos se conectem a uma rede de comunicações e são identificados e controlados através desta conexão de rede." Em projetos de internet das coisas que necessitam de funcionamento a distância, as redes de comunicação sem fio têm um papel de extrema importância para essas aplicações. Elas possibilitam a conectividade dos sistemas com os ambientes e permitem a troca de informações dos dispositivos [6].

A internet das coisas é uma infraestrutura de rede global, com capacidade de conectar o meio físico ao digital, possibilitando que dispositivos, através de seus sensores de forma autônoma, explorem e coletem dados e interajam com o ambiente ou repassem esses dados através das suas redes de comunicação com a internet, tornando possível que pessoas além de terem acesso a esses dados também interajam com os dispositivos conectados [17]. É uma das utilidades que essa tecnologia proporciona é a possibilidade de conexão dos dispositivos com armazenamento de dados nas nuvens, o que facilita processamentos e análises dos dados de maneira inteligente [18].

1) *Plataforma ThingSpeak*: As plataformas para internet das coisas permitem que os usuários que desenvolvem e administram projetos na área deixem de perder tempo e gastar receita com instalações. Uma das plataformas muito utilizada é a *ThingSpeak*. Com ela é possível receber dados de sensores, analisar esses dados, plotar gráficos para melhor visualização, criar reações interligadas aos dados recebidos, envio de *tweeters* que possibilitam a interação com outras plataformas e ações via protocolo HTTP. As interfaces desta plataforma deixam as aplicações mais intuitivas para análise do usuário [5].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para a elaboração do sistema baseado em IoT para monitoramento de parâmetros da água para ser implementado em uma embarcação de superfície autônoma foi a partir da modelagem de uma Arquitetura de Hardware dividida em módulos de desenvolvimento. Com o protótipo construído, foi realizado experimentos em uma região da Lagoa dos Patos, localizada no Rio Grande do Sul, com o intuito de observar o funcionamento do envio de dados para a visualização na plataforma *ThingSpeak*.

A. Arquitetura de Hardware

A arquitetura de hardware do protótipo proposto foi dividido em duas partes (Figura 4): sistema de sensoriamento que ficará embarcado na embarcação para aquisição dos dados dos sensores e um sistema de comunicação com tecnologias IoT para monitoramento online que ficará em uma estação em terra.

A maioria dos sensores que utilizamos foram adquiridos da empresa *AtlasScientific*, que possui uma gama de instrumentos voltados para conexão com robôs e automação. A escolha foi

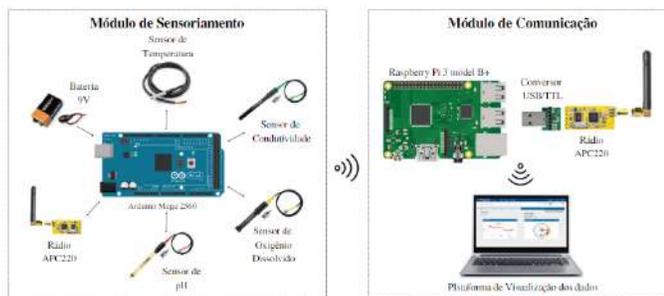


Fig. 4. Arquitetura de Hardware

definida a partir da caracterização das variáveis definidas para coleta e do custo dos sensores.

Uma melhor definição da estrutura de funcionamento dessa arquitetura de hardware pode ser visualizada na Figura 5.

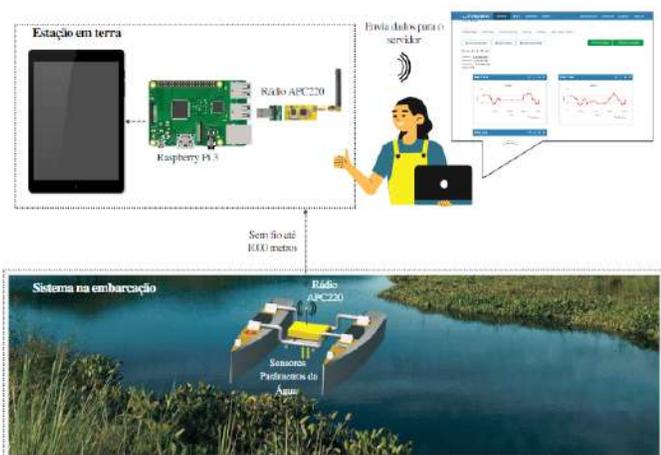


Fig. 5. Funcionando do sistema

1) *Módulo de Sensoriamento*: Os principais parâmetros monitorados no sistema proposto são temperatura, condutividade elétrica (EC), oxigênio dissolvido (OD) e pH. Os sensores utilizados, como já descritos anteriormente foram as da fabricante *Atlas Scientific* e o sensor de temperatura DS18B20. Esse módulo corresponde ao sistema de aquisição das variáveis, mostrado na Figura 6.

Sensor	Faixa de medição	Precisão
EC	5 $\mu\text{S/cm}$ a 200.000 $\mu\text{S/cm}$	+/- 2%
OD	0 a 100 mg/L	+/- 0.05 mg/L
pH	0 a 14	+/- 0.002
DS18B20	-55 °C a 125 °C	+/- 0,5 °C

Tabela 1
ESPECIFICAÇÕES DOS SENSORES

Na Tabela 1 está as especificações dos sensores utilizados.

Um Arduino Mega constitui a parte central do sistema de monitoramento da qualidade da água, onde estão conectados tanto os sensores dos parâmetros monitorados, como a bateria e o módulo de Rádio APC220, cuja função é enviar os dados obtidos dos sensores para a central do Módulo de

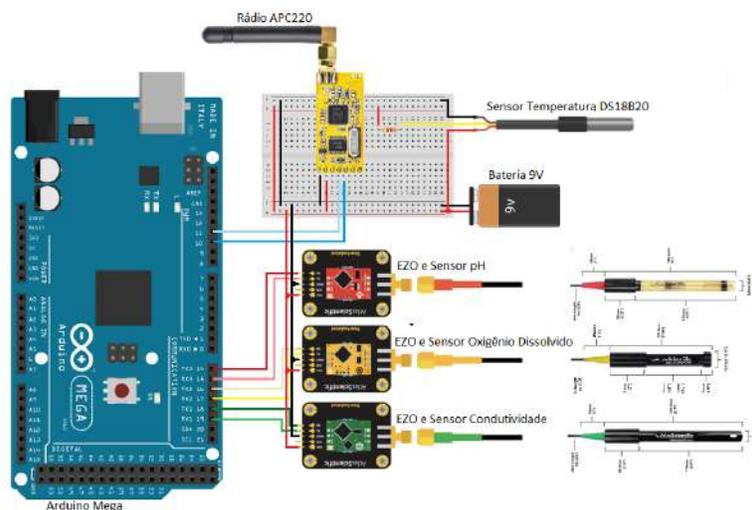


Fig. 6. Circuito Sensoriamento

Comunicação, que é uma Raspberry Pi 3+. Cada sensor se comunica com microcontrolador Arduino Mega através do protocolo receptor/transmissor assíncrono universal (UART). Apenas o sensor de temperatura é conectado diretamente ao pino analógico do microcontrolador.

Para a estrutura mecânica onde estará implementado o Módulo de Sensoriamento, foi utilizado uma caixa estojo impermeável com travas em cada lateral e uma na frente para garantir a vedação, além de possuir anel de vedação em todo seu contorno a fim de não permitir que o circuito pudesse ter contato com a água.



Fig. 7. Caixa Impermeável

2) *Módulo de Comunicação*: A principal função desse módulo é receber os dados que chegam do Sistema de Sensoriamento que estará acoplado na embarcação e envia-los em intervalos de tempo para nuvem, de onde o usuário poderá acessar esses dados através da plataforma *ThingSpeak*, de qualquer lugar. Para isso, é utilizado o mini-microcomputador de baixo custo, o Raspberry Pi 3+, que é muito utilizado para soluções baseadas em IoT, pois possui conectividade Wi-Fi 802.11n integrado, evitando a necessidade de comprar adaptadores adicionais.

O circuito elétrico responsável pelo sistema de aquisição IoT estará localizado em uma estação em terra e consiste apenas do Raspberry Pi 3+ e um Rádio APC220, um módulo de comunicação Wireless Semi-suplex em rádio frequência que

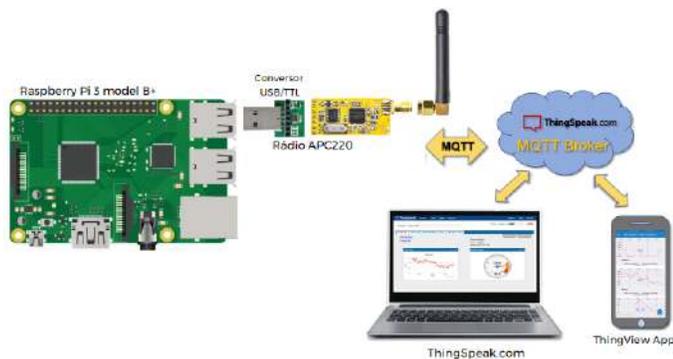


Fig. 8. Sistema de Comunicação

funciona como transmissor e como receptor [20]) e fornece um alcance de até 1.000 metros em campo aberto.



Fig. 9. Módulo RF APC220 e adaptador USB.
Fonte: Retirado do [7], 2022.

3) *Sistema de Visualização dos Dados*: Para visualização e monitoramento dos dados de parâmetros da água utilizou-se a computação na nuvem, ou seja, os dados foram armazenados e processados em um servidor externo, que funciona como serviço web para a “Internet das Coisas” (IoT), denominado de *ThingSpeak*.

Essa plataforma é uma interface de código aberto que ouve os dados recebidos, marca o tempo e possibilita através de gráficos visuais que usuários monitorem os dados e até mesmo façam análises utilizando o matlab. A interface fornece recursos simples para objetos dentro do ambiente IoT, além disso permite que criem aplicativos em torno dos dados coletados pelos sensores. Ele fornece coleta de dados quase em tempo real, processamento e visualizações simples para os usuários [12].

O protocolo utilizado na comunicação é baseado em MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), ele faz uso do conceito de *broker*, que de maneira simples, é um software servidor que recebe solicitações e as repassa, quando solicitado, apresenta sintaxe simples e interface mais leve.

Acessando o site da plataforma foi realizado um cadastro e com isso foram fornecidos os acessos a criação de canais e funções da plataforma. Os dados são armazenados nos chamados canais, onde se realizou as configurações de nome do canal, habilitado os campos de 1 a 4 e seus respectivos

nomes para serem mostradas as informações em gráficos de temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH.

Para o acompanhamento em tempo real das variáveis monitoradas, é possível a utilização do aplicativo de celular *ThingView*. Para acessá-lo é só instalar em seu celular e ter disponível o código API Key, que a visualização dos dados esboçados em gráficos poderão ser visualizadas.



Fig. 10. Aplicativo *ThingView* para acompanhamento em tempo real
Fonte: Aplicativo *ThingView*, 2022.

IV. RESULTADOS

Com o protótipo foram realizados alguns experimentos para verificar corretamente o funcionamento. Realizamos o monitoramento da qualidade da água em regiões da Lagoa dos Patos, localizada no Rio Grande do Sul.

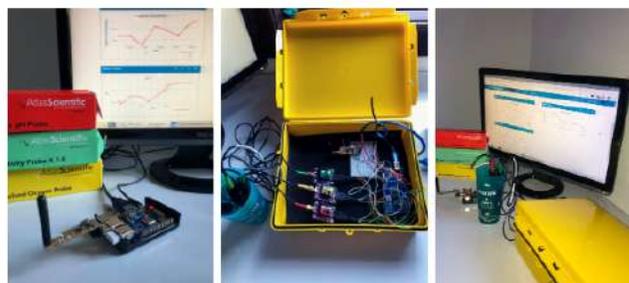


Fig. 11. Testes iniciais com o sistemas funcionando.

A Figura 12 mostra o local de onde foi realizada a coleta. Os dados foram monitorados no dia 11 de Janeiro de 2023. Entretanto, a embarcação de superfície não estava pronta, utilizamos somente o sistema para adquirir os dados.

A amostra foi monitorada no Museu Oceanográfico Prof. Eliézer de Carvalho Rios da Universidade Federal de Rio Grande-FURG, sendo um local que fica próximo a Boia meteo-oceanográfica RS-1 do projeto SiMCosta, com o propósito de comparar os dados colhidos pelo protótipo.



Fig. 12. Marcador amarelo corresponde a Boia meteo-oceanográfica RS-1, já o vermelho corresponde o local experimental.

Outra análise realizada foi a comparação com os resultados obtidos nas análises às exigências da resolução do CONAMA 357/2005, a normativa de parâmetros indicadores da qualidade da água [3]. Para que os parâmetros fossem medidos corretamente, inicialmente foram calibrados os sensores. Para isso, foram utilizados as soluções que vieram junto com os kits. De acordo com o fabricante só precisa ser feita uma vez ao ano. Através da função do sistema de apresentar os valores na interface *ThingSpeak* em tempo real, foram realizadas as medições e apresentadas em forma de gráficos.

Em relação ao parâmetro temperatura da água, representada na Figura 13 variou de 27,62 °C e o ponto de maior valor de temperatura foi de 28,87.



Fig. 13. Gráfico Temperatura da Água

A Figura 14 retirada do site SiMCosta da boia RS-1, nota-se certa discrepância, mas com uma aproximação com os dados coletados, que pode ser explicada pela diferença dos locais das medidas.

O gráfico mostrado na Figura 15 são informações coletadas referentes a condutividade elétrica da água que variaram de 21,980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 22,460 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A resolução CONAMA 357/05



Fig. 14. Gráfico Temperatura da Água dados SiMCosta

não estabelece limites para esse parâmetro. Nesse sentido, não há como estabelecer se o local de experimentação do Estuário da Lagoa dos Patos está de acordo com os padrões estabelecidos sob o ponto de vista da condutividade elétrica da água.



Fig. 15. Gráfico de Condutividade elétrica

No que se diz respeito ao parâmetro oxigênio dissolvido representada da Figura 16, os valores variaram de 4.88 mg/L a 6.86mg/L.



Fig. 16. Gráfico de Oxigênio Dissolvido

Ou seja, está de acordo com a resolução CONAMA

357/2005 para corpos de água salobra, no entanto é necessário atentar para o menor valor atingido, já que está no limite a baixo do estipulado pela resolução que não deve ser inferior a 5 mg/L.

A partir do gráfico retirada do site SiMCosta (Figura 17) é possível observar que os valores estão similares, notável somente uma breve discrepância devido a diferença de posições do local das medidas e a boia. Entretanto, as medidas também estão de acordo com os parâmetros da resolução.



Fig. 17. Gráfico de Oxigênio Dissolvido dados SiMCosta

Na Figura 18 é possível visualizar a distribuição dos dados de pH ao longo do período avaliado. De maneira geral, os valores variam de 6,848 a 6,92. Ou seja, por quase todo o período os valores encontrados para o parâmetro pH estão próximos à neutralidade e seus valores são condizentes a Resolução CONAMA 357/2005, uma vez que, para este parâmetro, o valor pode oscilar entre e 6,5 a 8,5.



Fig. 18. Gráfico da variação de pH

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresenta com o intuito de facilitar o monitoramento da qualidade da água, um sistema de sensoriamento utilizando tecnologias IoT para o monitoramento em tempo real e de acesso rápido a visualização dos dados, para ser utilizado em um projeto de desenvolvimento de uma embarcação de superfície autônoma, com finalidade de monitorar áreas

costeiras e estuarinas. Para isso, foi criada uma estrutura de hardware que contribuísse para a aquisição dos dados e que transmitisse com um alcance médio de 1000 metros para um Raspberry Pi, disponibilizando a visualização, em tempo real, dos parâmetros físico-químicos obtidos. O sistema foi projetado de forma que estivesse protegida pelas intempéries existentes, sendo protegida por uma caixa estanque para proteção de todos seus componentes.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVIM, Gustavo Pessanha; DI MARCO, Pedro da Costa. Projeto e construção de uma estação meteorológica aplicada a uma embarcação teleoperada, 2016
- [2] CAVALLI, Olga. Internet das coisas e inovação na América Latina. SI: sn, 2016.
- [3] CONAMA (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, 2005. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [4] DUNBABIN, Matthew; MARQUES, Lino. *Robots for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications*. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v 19, p: 24-39.
- [5] DE OLIVEIRA, Sérgio. Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI. Novatec Editora, 2017.
- [6] DE SOUZA, Paulo Silas Severo et al. Redes voltadas a Internet das Coisas: uma revisão, 2016.
- [7] DFROBOT (2022). APC220 Radio Data Module. Acesso em Agosto de 2022.
- [8] GLASGOW, H. B.; BURKHOLDER, J. A. M, Reed R. E, Lewitus AJ, Kleinman J. E, " *Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 300, n. 1-2, p. 409-448, 2004.
- [9] MAGRANI, Eduardo. A internet das coisas. Editora FGV, 2018.
- [10] MARTINS, Leandro Ramos et al. Construção de um protótipo de barco robô de baixo custo para análise de qualidade de água em rios e reservatórios. 2020.
- [11] MELO, William Lima de Melo. Análise do monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário da Barra do Rio Mamanguape com o uso da sonda multiparamétrica. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.
- [12] MAUREIRA, Marcello A. Gómez; OLDENHOF, Daan; TEERNSTRA, Livia. *ThingSpeak—an API and Web Service for the Internet of Things*. *World Wide Web*, 2011.
- [13] NIENCHESKI, Luis Felipe Hax; BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; PEREIRA, Régis da Silva. *Condição ambiental da Lagoa dos Patos*. 2005.
- [14] ROMÃO, A. L. E.; PAVANI FILHO, A.; ALVES, C. R. Estuário do Rio São Francisco: delineamento do perfil longitudinal e vertical. *Edufal*, p. 73 -90, 2020. Acesso em: Abril de 2022.
- [15] SÁ, Joyse de Mesquita Lindoso de et al. *AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DE ÁGUAS COSTEIRAS NA BAÍA DE SÃO MARCOS EM SÃO LUIS, MARANHÃO*. 2014.
- [16] SILVA JÚNIOR, Andouglas Gonçalves da. Sistema mecatrônico de tempo real para monitoramento da qualidade da água embarcado em veleiro robótico autônomo. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- [17] SOUZA, Alberto Messias da Costa. Uma nova arquitetura para Internet das Coisas com análise e reconhecimento de padrões e processamento com Big Data. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [18] SOUZA, Thiago Lima; DE CARVALHO, Telma. Internet das coisas (IoT) em bibliotecas universitárias brasileiras: diagnóstico situacional. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, v. 13, p. 1136-1147, 2017.
- [19] WIBOWO, Nugroho Setyo et al. *Development of low-cost autonomous surface vehicles (ASV) for watershed quality monitoring*. In: *2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICICT)*. IEEE, 2018. p. 489-494.
- [20] ZARPELON, Michel Elimar; AZEVEDO, Cristiano Rodrigo. Desenvolvimento de um sistema para monitoramento de assoreamento de reservatórios hidroelétricos. *Unoesc Ciência-ACET*, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2018.