UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

CAROLINA GÓMEZ PÉREZ

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA
REGISTRO CONTÍNUO DE VARIAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA
CONTRIBUINDO À FORMAÇÃO DE SISTEMAS DE ALERTA DE
EVENTOS NATURAIS E EXTREMOS - ESTUDO DE CASO
COMPLEMENTADO POR VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM CANANÉIA
(SP-BRASIL)**

SÃO PAULO

2019

CAROLINA GÓMEZ PÉREZ

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA REGISTRO
CONTÍNUO DE VARIAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA CONTRIBUINDO À FORMAÇÃO
DE SISTEMAS DE ALERTA DE EVENTOS NATURAIS E EXTREMOS - ESTUDO DE
CASO COMPLEMENTADO POR VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM CANANÉIA (SP-
BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência Ambiental do Instituto
de Energia e Ambiente da Universidade de
São Paulo para a obtenção do título de Mestre
em Ciência Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Elisabete de Santis
Braga da Graça Saraiva

Versão Corrigida
(versão original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca
Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO

- 2019 -

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Gómez -Pérez, Carolina.

Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para registro contínuo de variação do nível da água contribuindo à formação de sistemas de alerta de eventos naturais e extremos: estudo de caso complementado por variáveis ambientais em Cananéia (SP-Brasil) / Carolina Gómez Pérez; orientadora: Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva. – São Paulo, 2019.

100 f.: il., 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Mudança climática. 2. Qualidade da água. 3. Inovações tecnológico. 4. Impactos ambientais. 5. Inundações. I. Título.

Nome: Gómez -Pérez, Carolina

Título: Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para registro contínuo de variação do nível da água contribuindo à formação de sistemas de alerta de eventos naturais e extremos - estudo de caso complementado por variáveis ambientais em Cananéia (SP-Brasil)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Presidente: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista ao meu amado Guilherme, por ser a minha motivação para continuar aprendendo e superar os desafios da vida.

A profe Bete pela paciência e dedicação, carinho e compaixão que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Você me deu força, motivação, calma e coragem quando eu achava que não era mais possível.

A minha mãe Luz Maria, minha irmã Coral e meu pai Arturo. Que falta vocês me fazem!

AGRADECIMENTOS

Ao meu futuro esposo Guilherme pelo seu amor e apoio incondicional, e por me motivar a ser melhor cada dia.

A mi familia y amigos que siempre me demostraron su apoyo y cariño en esta gran aventura. En especial a mi mamá Luz María y mi hermana Coral porque a pesar de la gran distancia, todos los días me demuestran que nuestros corazones siguen unidos.

A minha orientadora Profe Bete, que desde o início acreditou em mim e me deu paz e carinho nos momentos mais difíceis. Obrigada por todo o aprendizado.

Ao Antônio que desde o início do projeto demonstrou grande apoio e foi essencial na realização do projeto. Sem a sua ajuda não teria sido possível.

Ao pessoal do LABNut Vitor, Bruno, Bia, Luany, Nixon, Bruno, Henrique, Ana Sofia e Glaucia pelo apoio, paciência e carinho.

Ao pessoal do IO, Nilson, Henrique e Freddy pelo seu entusiasmo e vontade de ajudar.

Ao pessoal da Base Sul em Cananéia, pela grande disponibilidade de apoio nas pesquisas.

Ao PROCAM – Programa de Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo pela oportunidade da realização do mestrado. E aos funcionarios da secretária da Pós, pelo seu atenção e paciencia.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de uma bolsa financiadora para realizar o mestrado.

A todas as pessoas que contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

GÓMEZ, C. Desenvolvimento de equipamento de baixo custo para registro contínuo de variação do nível da água contribuindo à formação de sistemas de alerta de eventos naturais e extremos - estudo de caso complementado por variáveis ambientais em Cananéia (SP-Brasil) 2019. 100p. Dissertação de Mestrado - Programa de Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo.

Devido ao ritmo acelerado das mudanças climáticas, o número de desastres naturais no planeta vem aumentando, sendo as inundações o tipo de desastre natural com maior porcentagem de ocorrências no mundo. Com o objetivo de reduzir os impactos de tais eventos, foi desenvolvida uma ferramenta de medição contínua de nível de água de baixo custo utilizando um microcontrolador Arduino com um sensor ultrassônico. Os resultados dos testes feitos em rios e estuários foram comparados com estações meteorológicas de agências governamentais e com modelos de previsão de maré. A maior diferença encontrada entre eles foi de aproximadamente 10 cm. Em paralelo foi feito o acompanhamento de medidas de qualidade da água para conhecer melhor a relação entre as mudanças no ambiente e a variação do nível da água. Com isso, foi observado que a salinidade, o pH e o silicato acompanharam a variação do nível do corpo hídrico. No dia 5 de julho de 2018, a variação do nível foi de 28 a 113 cm, a salinidade teve uma variação de 22,64 a 25,96 UPS, o pH de 8 a 8,09 e o silicato de 36,74 a 46,74 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Em conjunto, este trabalho visa contribuir na avaliação e previsão de eventos extremos e fornecer uma sugestão para sistema de alerta para inundações.

Palavras-chave: Inundação, Inovação, Monitoramento, Mudanças climáticas, Qualidade da água, Tecnologia acessível.

ABSTRACT

GÓMEZ, C. Development of low cost equipment for continuous measurement of water level variation, which contributes to the formation of extreme and natural event warning systems - case study complemented by environmental variables in Cananéia (SP- Brazil) 2019. 100p. Dissertação de Mestrado - Programa de Ciência Ambiental (PROCAM), Universidade de São Paulo, São Paulo.

Due to the rapid pace of climate change, the number of natural disasters on the planet is increasing, with floods being the type of natural disaster with the highest percentage of occurrences in the world. In order to reduce the impacts of such events, a low cost continuous water level measurement device was developed using an Arduino microcontroller with an ultrasonic sensor. The results of tests in rivers and estuaries were compared to government agency weather stations and tide prediction models. The largest difference found between them was approximately 10 cm. In parallel, water quality measures were monitored to better understand the relationship between changes in the environment and water level variation. Thus, it was observed that salinity, pH and silicate accompanied the variation of water body level. On a day when the level change was 28 to 113 cm, the salinity ranged from 22.64 to 25.96 UPS, the pH from 8 to 8.09 and the silicate from 36.74 to 46.74 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Together, this work aims to contribute to the assessment and forecasting of extreme events and provide a suggestion for flood warning system.

Keywords: Flood, Innovation, Monitoring, Climate change, Water Quality, Affordable technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia- Iguape, SP.	21
Figura 2. Coletor para água de superfície e reagentes para “fixar o oxigênio e o N-amoniacoal.....	28
Figura 3. Equipamento Metrohm do LABNUT-IOUSP para análise do oxigênio dissolvido.....	30
Figura 4. Equipamento para filtração em vácuo do material em suspensão.....	33
Figura 5. Microcontrolador Arduino Mega 2560.	35
Figura 6. Diagrama elétrico do microcontrolador Arduino Mega 2560.....	35
Figura 7. Sensor ultrassônico JSN-SR04T.	36
Figura 8. Diagrama elétrico do equipamento contendo o microcontrolador controlador Arduino e o sensor de distância ultrassônico.....	36
Figura 9. Painel LCD Nokia 5110.	37
Figura 10. Diagrama elétrico do equipamento contendo microcontrolador Arduino, sensor ultrassônico e painel eletrônico.	38
Figura 11. Protótipo de equipamento de medição com todos os elementos eletrônicos acoplados.	39
Figura 12. Diagrama elétrico contendo o microcontrolador Arduino, o sensor ultrassônico, o painel elétrico e a placa de armazenamento.	39
Figura 13. Fonte de alimentação de 9 volts com transformador de corrente.....	40
Figura 14. Ilustração do esquema utilizado para conversão do nível da água. Observa-se a posição do sensor ultrassônico, a medida da altura do sensor e o nível da água...	42
Figura 15. Mapa da região de estudo - Cidades de Cananéia, Iguape e Registro (SP).	43
Figura 16. Localização da estação meteorológica do DAEE, perto do Valo Grande em Iguape, SP.....	45
Figura 17. Ponte do Valo Grande em Iguape, SP. (30/03/18).	45

Figura 18. a) Dados de pluviometria mensal do ano 2018, b) Precipitação acumulada por dia na estação do INMET, em Iguape, nos dias prévios à medida do nível (30-31/03/2018).....	46
Figura 19. Série temporal de dados obtidos com o sensor de nível desenvolvido e dados do DAEE, dia 30/03/18 em Iguape, SP.....	47
Figura 20. Observação da turbulência registrada no rio Ribeira de Iguape perto do Valo Grande (SP) (31/03/18).....	48
Figura 21. Série temporal de medidas obtidas com o sensor de nível desenvolvido e dados do DAEE do dia 31/03/18 em Iguape, SP.....	48
Figura 22. Equipamento realizando o registro de dados de nível da água na ponte do Valo Grande em 25/04/18.....	49
Figura 23. Série temporal de medidas de nível d'água do Rio Ribeira de Iguape, na altura do Valo Grande, registradas pelo sensor e pela estação do DAEE em 25/04/18.	50
Figura 24. Gráfico de chuva acumulada por dia em Iguape (SP), nos dias prévios à medição de nível do 25/04/18.....	50
Figura 25. Imagem do rio Ribeira de Iguape, próximo à ponte da BR 116, no dia 24/04/18 em Registro, SP.....	51
Figura 26. Compilação de fotografias do equipamento fazendo a coleta de dados em Registro (SP), no dia 24/04/18.....	52
Figura 27. Gráfico de chuva acumulada por dia em Registro (SP), nos dias prévios à medição de nível do 24/04/18.....	52
Figura 28. Régua instalada no rio Ribeira de Iguape (à esquerda) e ampliação da medida da régua com sinalização de 24cm (à direita).....	53
Figura 29. Série temporal do nível da água do Rio Ribeira, registrados pelo sensor e pela régua do DAEE em Registro (SP) no dia 24/04/18. A linha vermelha corresponde a observação pontual, não contínua.....	54
Figura 30. (a) Estação meteorológica da base Sul do IOUSP; (b) posição do equipamento de medição na base do píer com o sensor ultrassônico direcionado para a água; (c) visão do equipamento fazendo a medição do nível com uma bateria de 12V como fonte de alimentação. Cananéia (SP) no dia 23/08/17.....	55

Figura 31. Valores de nível da água obtidos pelo sensor e obtidos do modelo de previsão de maré do IOUSP	56
Figura 32. Curva de maré comparando dados do equipamento desenvolvido e dados do marégrafo e da previsão de maré do IOUSP.	57
Figura 33. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 04/07/18, em Cananéia, SP.	58
Figura 34. Imagem do Mar Pequeno (Cananéia, SP), com céu visivelmente nublado, em Cananéia, SP no dia 04/05/18.....	59
Figura 35. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.	60
Figura 36. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.	61
Figura 37. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniacal; e) NID.	62
Figura 38. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 05/07/18, em Cananéia, SP.	63
Figura 39. Imagem do Mar Pequeno, com céu visivelmente aberto, em Cananéia, SP no dia 05/05/18.	64
Figura 40. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 05/07/18: a) variação de nível; b) salinidade; c) pH; d) MPS; e) MOPS.	65
Figura 41. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 05/07/18: a) variação de nível; b) silicato; c) fosfato; d) nitrito; e) nitrato.	66
Figura 42. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 22/08/18 em Cananéia, SP	67
Figura 43. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.	68
Figura 44. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.	69

Figura 45. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniaco; e) NID.	70
Figura 46. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 23/08/18 em Cananéia, SP.	71
Figura 47. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.	72
Figura 48. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.	73
Figura 49. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniaco; e) NID.	74
Figura 50. Porcentagem de ocorrências de desastres naturais, por tipo de desastre (1995 - 2005).	76
Figura 51. Placa de extensão de Ethernet para Arduino.....	77
Figura 52. Relógio RTC 3231	78
Figura 53. Placa de extensão GSM shield	79
Figura 54. Pontos de medição marcados no mapa da Bacia do Rio Ribeira da rede hipotética.	81
Figura 55. Sugestão de rede telemétrica de sinal de alerta.....	82
Figura 56. Estação telemétrica do DAEE (à esquerda) e, interior da estação, mostrando conexões e equipamentos (à direita).....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo dos pontos de amostragem com local, data, duração e parâmetros medidos.....	43
Tabela 2 Precipitação acumulada em Cananéia (SP), a cada 5 dias no mês de agosto.	55
Tabela 3 Custos do equipamento desenvolvido	83

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Ficha técnica do sensor ultrassônico JSN-SR04T.	95
APÊNDICE B - Dados medidos pelo sensor e comparados com a estação do DAEE em Iguape no dia 30/03/18.	96
APÊNDICE C - Dados medidos pelo sensor e dados obtidos pela estação do DAEE em Iguape no dia 31/03/18.	97
APÊNDICE D - Dados medidos pelo sensor e dados obtidos pela estação do DAEE em Iguape no dia 25/04/2018.	98
APÊNDICE E - Dados medidos pelo sensor em Registro, SP no dia 24/04/18.....	98
Apêndice F - Dados de altura da maré (cm) segundo modelo de previsão de maré do IOUSP para 23/08/2017.	99
APÊNDICE G - Dados medidos pelo sensor em Cananéia no dia 23/08/2017.	100

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
CIIAGRO	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CTD	<i>Conductivity, Temperature and Depth</i>
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IOUSP	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
IP	<i>International Protection Rating</i>
LABNUT	Laboratório de Biogeoquímica de Nutrientes, Micronutrientes e Traços nos Oceanos
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
MOPS	Material Orgânico Particulado em Suspensão
MPS	Material Particulado em Suspensão
OD	Oxigênio dissolvido
RTC	Relógio em tempo real
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural</i>

USP

Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP)	21
2. OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo geral	24
2.2 Objetivos específicos	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Desenvolvimento de Equipamento – Tecnologia	25
3.2 Avaliação Ambiental – conhecimento de parâmetros hídricos básicos para o conhecimento de áreas costeiras sob regime de maré	27
<i>3.2.1 Dados climatológicos</i>	<i>27</i>
<i>3.2.1.1 Temperatura do ar</i>	<i>27</i>
<i>3.2.1.2 Precipitação</i>	<i>28</i>
<i>3.2.1.3 Medidas de Maré</i>	<i>28</i>
<i>3.2.1.4 Amostragem da água de superfície</i>	<i>28</i>
<i>3.2.2 Temperatura da água</i>	<i>29</i>
<i>3.2.3 Salinidade</i>	<i>29</i>
<i>3.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	<i>29</i>
<i>3.2.5 Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	<i>29</i>
<i>3.2.6 Nutrientes dissolvidos – analisados no Laboratório de Biogeoquímica de Nutrientes, Micronutrientes e traços nos oceanos (LABNUT-IOUSP)</i>	<i>30</i>
<i>3.2.6.1 Silicato dissolvido</i>	<i>31</i>
<i>3.2.6.2 Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID)</i>	<i>31</i>
<i>3.2.6.3 N-amoniacal</i>	<i>31</i>
<i>3.2.6.4 Nitrato e Nitrito</i>	<i>32</i>
<i>3.2.6.5 Material Particulado em Suspensão (MPS) e Material Orgânico Particulado em Suspensão (MOPS)</i>	<i>32</i>
3.3 Tratamento dos dados	33
4. RESULTADOS	34
4.1 Desenvolvimento do equipamento	34

4.1.1 Adequação do controlador.....	34
4.1.2 Sensor de distância.....	35
4.1.3 Painel eletrônico	37
4.1.4 Armazenamento de dados.....	38
4.1.5 Fontes de alimentação.....	40
4.1.6 Compactação e proteção do equipamento	41
4.1.7 Calibração dos dados do sensor	41
4.2 Medidas testes in-situ	42
4.2.1. Sistemas hídricos – Rio Ribeira de Iguape – Valo Grande, Iguape (SP).....	44
4.2.2. Sistemas hídricos: Rio Ribeira – Registro (SP).....	51
4.2.3. Sistemas hídricos – Estuário de Cananéia – Base Sul, Dr. João de Paiva Carvalho do IOUSP, em Cananéia (SP).	54
4.3 Medidas de nível d'água acompanhadas de medidas ambientais em Cananéia (SP)	56
4.3.1 Medida da variação do nível – primeiro registro	57
4.3.2 Avaliação temporal de variação do nível da água e das propriedades físicas e químicas associadas.....	58
4.3 Proposta de plano de risco para inundações	75
4.3.1 As implementações necessárias no equipamento	76
4.3.2 A formação de uma rede de medidores	80
4.3.3 A sugestão de comunicação com as autoridades e com a população.....	81
5. DISCUSSÃO.....	83
5.1 Técnico	83
5.2 Técnico e Ambiental.....	86
6. CONCLUSÃO.....	89
REFERENCIAS	91
APÊNDICE	95

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se evidenciado mudanças climáticas a nível mundial ocorrendo em um ritmo intensificado, associadas ao crescimento populacional e ao aumento da demanda e uso de energia e alimentos, de modo que o planeta tem sofrido alterações nos ciclos naturais para poder atender a tal demanda. Com isso, existem sinais destas alterações ocorrendo como é evidenciado pelo aumento de eventos extremos. A elevação da temperatura média do planeta, aumento na intensidade e frequência de inundações, períodos de seca prolongados, intensificação das tempestades, e aumento do nível do mar, entre outros, são aspectos que tem chamado a atenção mundial, os quais vem sendo observados desde 1950 segundo o IPCC¹ (2014).

O aumento do nível do mar pelo derretimento das geleiras está mais acelerado ao redor do mundo. Uma pesquisa publicada no *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) calcula que para o ano 2100, o ritmo do aumento anual do nível do mar pode mais do que triplicar (BAMBER et al., 2018). Em nível mundial, as inundações constituíram o desastre natural com maior ocorrência no período de 1995 a 2015, tendo custos enormes, afetando a 2,3 bilhões de pessoas e matando a 157.000. (UNISDR²; CRED³, 2015, p. 5, tradução nossa). Em termos de desastres naturais as regiões costeiras se inserem no conjunto das mais vulneráveis, pois estão sujeitas a tempestades cada vez mais recorrentes e intensas, e com isso surge a preocupação da capacidade do ser humano para se adaptar aos impactos destas mudanças (CAHOON; GUNTENSPERGEN, 2010).

A pesquisa da UNISDR e CRED (2015) sugerem que o controle de inundações deveria ser uma preocupação humanitária, dando prioridade às medidas de mitigação de custo-benefício em regiões pobres com alto risco de inundações recorrentes.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) “atualmente, as regiões costeiras englobam menos de 20% da superfície do planeta, mas acomodam mais de 45% da população humana; hospedando 75% das grandes cidades com mais de 10 milhões de habitantes e

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

² The United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)

³ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)

produzindo cerca de 90% da pesca global” (MMA, 2007, p.101). As atividades econômicas das regiões costeiras como a pesca e a agricultura também estão em risco com as mudanças na vegetação, temperatura e qualidade da água. É calculado, por exemplo, uma diminuição no potencial máximo de captura da pesca de até 1,5 bilhões de toneladas por ano (IPCC, 2018)

No setor agrícola, chuvas torrenciais e enchentes podem ser mais prejudiciais do que secas prolongadas, devido a que podem gerar anoxia ou doenças nas raízes da plantação (POSTHUMUS et al., 2009). O aumento de precipitação extrema nas regiões que se encontram perto de corpos hídricos pode também gerar o processo de lixiviação, que acontece quando os nutrientes do solo são transportados pelo escoamento das chuvas intensas. Duas consequências importantes acontecem com isso, os solos perdem nutrientes essenciais, e esses nutrientes que chegam nos rios, lagos e oceanos afetam a qualidade da água e podem promover a eutrofização no ecossistema com o “florescimento” de algas nocivas e o desenvolvimento da hipóxia nas águas.

Durante anos, muitos estudos vêm tratando de temas voltados à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, mas existem muitas evidências de que o planeta está sendo muito impactado pelos efeitos delas, e os dados científicos atuais apontam que as condições climáticas podem se agravar ainda muito mais (IPCC, 2018). Considerando o aumento da frequência e intensidade das alterações causadas pelas mudanças climáticas (IPCC, 2013) também precisamos pensar em ações de adaptação e mitigação aos impactos dessas mudanças climáticas, que não só afetam o nível e ciclo da água, mas também o ciclo dos elementos, alterando seu aporte ao sistema hídrico e os processos em que estão envolvidos, como é apontado por muitas variáveis ambientais e principalmente pelo ciclo biogeoquímico dos nutrientes.

Assim, o acompanhamento não só do nível da água, mas também da carga de nutrientes é importante, pois isto tem repercussões na segurança e saúde das pessoas, e impactos nas atividades econômicas como o turismo, a pesca, a agricultura, que estão ligadas à qualidade da água e seus ciclos.

O litoral sul do estado de São Paulo, sobretudo as regiões de Cananéia e Iguape possuem um índice pluviométrico anual alto ($>3000\text{mm}$) (ICMBio⁴, 2016, p. 60-61). No caso da região norte, o histórico de escavação do Canal do Valo Grande e sua erosão, aumentou a vazão de água para o sistema estuarino ocorrendo muitos casos de inundação na região em função das chuvas e deste aporte e ainda, das tentativas de manter uma barragem junto à Iguape.

Finalmente, registra-se que estamos prestes a entrar na década dos oceanos (2021-2030) declarada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) (MATOLA, 2017) de modo que os estudos voltados aos sistemas hídricos são intensamente recomendados.

O custo para implantação de sistemas ou redes de segurança que possam dar alerta de alterações ambientais tem muita ligação com o custo dos equipamentos, instalação e manutenção para alimentar redes de dados. Diante das mudanças climáticas e dos efeitos regionais que estão ocorrendo, o investimento em implantação de pontos de monitoramento confiáveis, com acesso remoto e com custo relativamente baixo, torna-se uma necessidade que pode salvar muitas vidas e preservar a economia de uma região. Outras recomendações paralelas devem ser feitas, geradas por protocolos mais amplos, porém as ações localizadas devem ser iniciadas e sair do planejamento.

Certamente cada estado deve ter um planejamento de segurança civil implantado e necessitando de implementação. A pesquisa científica associada ao desenvolvimento tecnológico deve contribuir para esta evolução. Desta forma, este trabalho tem em seu escopo um desenvolvimento de equipamento de baixo custo para medição do nível da água e também deve-se fomentar o acompanhamento de variáveis ambientais associadas às variações de nível.

⁴ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

1.1 Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP)

A área de estudo escolhida para este trabalho é a região do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia- Iguape, ao sul do litoral paulista, que faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul do Estado de São Paulo. A região se encontra no extremo sul de São Paulo na fronteira com o estado de Paraná, abrangendo ~ 100 km de extensão (Figura 1).

A região foi reconhecida pela UNESCO como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Patrimônio Mundial Natural da Humanidade (UNESCO, 2005), devido à sua importância quanto ao meio ambiente e de culturas tradicionais. Também é considerada como área prioritária para conservação pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), de muito alta importância biológica e muito alta urgência nas ações (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007).

Figura 1. Localização do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia- Iguape, SP.

Fonte: Modificado de Google Maps (GOOGLE, 2018).

A ilha de Cananéia se localiza no sul do sistema, local que abriga a cidade de Cananéia. As últimas medidas de nível da água e parâmetros ambientais foram feitas na Base Sul, Dr. João de Paiva Carvalho do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). No norte do sistema, as medidas foram feitas no Valo Grande, sobretudo em testes do equipamento.

A região se caracteriza pelo seu clima subtropical úmido com temperaturas médias anuais oscilando entre 21° e 22 °C. Caracterizado por uma pequena ou nenhuma seca hiberna, nos meses de inverno e de menos chuva (junho, julho e agosto) apresenta entre 50% e 70% do total nos meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro), sendo o índice pluviométrico anual superior a 3000 mm por ano (ICMBio, 2016, p. 60-61).

A principal vegetação presente na região é a Mata Atlântica e áreas extensas de manguezais, só em Cananéia encontram-se mais de 70 Km² (BEU, 2018, p 60), com mais de 1.200 espécies de plantas e uma fauna muito rica e diversificada, abrigando espécies ameaçadas e migratórias, segundo dados do IBAMA⁵ (2007).

A entrada de água doce em Cananéia chega por duas importantes bacias. O principal aporte se encontra ao norte com a descarga do Rio Ribeira de Iguape e ao sudoeste, drenada por uma bacia composta pelos rios Taquari/Carapara, das Minas/Mandira, Itapitangui e Iriaia-Açu, os quais contribuem, de acordo com Bérnago (2000), com aportes de água doce de 99,8 m³s⁻¹ em março, e 5,8 m³s⁻¹ em agosto, com média anual de 47,24 m³s⁻¹ (Barcellos, 2005).

O Rio Ribeira de Iguape forma a Ilha de Iguape, uma ilha artificial formada com a abertura do canal do Valo Grande. Este é um canal artificial criado entre 1827 e 1852 (SOUZA; OLIVEIRA, 2017), construído com o objetivo de ligar diretamente o Rio Ribeira de Iguape com o Mar Pequeno, para facilitar o transporte do arroz das plantações ao porto, onde era comercializado. Com o passar do tempo e devido à pequena resistência das margens, o tamanho do canal foi crescendo, indo de 4 m de largura com 2 m de profundidade, a 100 m de largura com mais de 10 m de profundidade para o final do século XIX (GEOBRÁS, 1966),

⁵ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Dos Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA).

atualmente já é maior que 300 m (ESCHRIQUE, 2011). Assim, a grande entrada de água doce no estuário ocasionou muitos prejuízos econômicos e ambientais, alterando as propriedades físico-químicas das águas. O assoreamento do Mar Pequeno devido à forte vazão do rio trouxe consigo uma grande quantidade de sedimentos, com isso o acesso ao porto pelas embarcações de grande porte foi sendo impedido e os negócios foram ficando inviáveis. Há muitos anos que as embarcações já não passam na Barra de Icapara.

Em 1978 o canal do Valo Grande foi fechado, e devido a diversos eventos de inundações na região houve um rompimento da barragem em 1983. Durante esse período, Furtado, Yamanaka e Oliveira (1981), mostram valores da salinidade com o canal aberto entre 0 a 18, e após o fechamento os níveis se mantinham entre 13 e 25, isto na junção entre o Valo Grande e o Mar Pequeno. A barragem foi fechada novamente, mas em 1995, em decorrência das fortes chuvas, o valo foi reaberto por última vez (Barcellos, 2005). Braga (1995) mostrou valores médios de salinidade em 1992 entre 29,40 antes do fechamento da Barragem.

Braga (1995) apresenta informações de salinidade, nutrientes principais (nitrato, nitrito, fosfato) e pigmentos fitoplanctônicos obtidos em 1992 na Baía de Trapandé, quando o Valo Grande estava fechado. Apesar das concentrações de nutrientes dissolvidos terem sido menores em 1995 em relação aos valores mais recentes, a região foi classificada como eutrófica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é contribuir à tomada de medidas de elevação do nível da água por médio do desenvolvimento de um equipamento de medição de nível de diferentes corpos hídricos. Esse deve ser confiável e de baixo custo, com o uso de sensores adequados para registros das variações de nível em águas sob diferentes ações hidrodinâmicas (correnteza e marés), o qual possa contribuir, em conjunto com as demais variáveis hidrológicas (temperatura, salinidade, pH, oxigênio entre outras) na avaliação e previsão de eventos costeiros e relacionados a outros corpos hídricos.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver equipamento de medição de variação do nível da água que possa ser utilizado para acompanhamento de variações naturais e variações extremas, de modo a contribuir ao conhecimento e monitoramento hidrológico das regiões com potencial para ocorrência destes eventos, contribuindo à tomada de decisões de proteção pelos gestores urbanos e ambientais para que tomem medidas o mais rápido possível.
- Investir esforços para que o equipamento desenvolvido seja de baixo custo, de facilidade de construção, que considere a disponibilidade dos componentes no mercado nacional e que tenha aspecto discreto para que possa ser instalado em diferentes pontos ao longo dos sistemas hídricos, contando com a facilidade de manutenção e com redução das possibilidades de furto.

- Instalar o protótipo em área costeira para avaliação da precisão as medidas, também, para comparar com outras fontes de dados simultâneos disponíveis para a região escolhida.
- Medir e acompanhar variações naturais do nível da água em áreas costeiras para melhor avaliar a eficiência do equipamento e planejar formas de uso em rede e as necessidades para a manutenção do equipamento.
- Medir outras variáveis ambientais que possam acompanhar a variação de nível da água em sistemas costeiros de modo a também fazer associações com outros possíveis indícios de aproximação de eventos extremos.
- Sugerir um sistema automático de medição contínua de nível do corpo hídrico com aquisição e transmissão de dados de forma remota, de modo a permitir o fácil acesso e disponibilização dos dados à comunidade, em sintonia com o programa de alerta das comunidades/cidades.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. 1. Desenvolvimento de Equipamento – Tecnologia

Existem diferentes métodos para medir o nível da água no mercado, sendo que na maioria dos casos são muito caros ou pouco confiáveis. Para o desenvolvimento do equipamento foram considerados alguns métodos, começando pelos mais básicos como a régua graduada, visores de nível, flutuador com peso; os quais cumprem com um dos requisitos importantes do equipamento que é ser de baixo custo, porém a precisão dos resultados não é muito boa, e/ou não são medições automáticas.

Foram estudados também métodos mais tecnológicos como os usados nos equipamentos tipo *Acoustic Doppler Current Profiler* (pela sigla em inglês: ADCP) e no *Conductivity, Temperature and Depth* (pela sigla em inglês: CTD), que são equipamentos que

possuem grande assertividade nas medidas, porém são de custo muito maior e são importados, sendo que existem algumas alternativas de desenvolvimento nacional.

Considerando alguns princípios para desenvolvimento do equipamento foi pensado que o desenvolvimento do equipamento poderia contar com um sensor de nível d'água baseado nas propriedades do ultrassom.

Lembrando que o ultrassom é uma tecnologia não invasiva com diversas aplicações na medicina, quando usada com baixa intensidade, pela grande precisão nos dados. O ultrassom também é muito usado na indústria para medições de distância ou para detectar falhas nos produtos, geralmente utilizado em aplicações de difícil acesso pela capacidade de fazer as medições sem precisar de entrar em contato direto com o elemento a medir.

É chamado de ultrassom o som com frequência superior aquela que o ouvido humano pode perceber, acima de 20 kHz. Os pulsos do ultrassom são gerados por cristais especiais que podem vibrar quando percorridos por uma corrente elétrica conveniente. Dessa forma, é possível gerar pulsos de ultrassom com frequências de vários MHz e com duração de apenas alguns milionésimos de segundo.

Ondas de ultrassom se propagam da mesma maneira que as ondas sonoras audíveis. Elas sofrem todos os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência, como todas as ondas. Assim, o sensor de distância por ultrassom funciona enviando um pulso de ultrassom por meio de um emissor no sensor. O pulso é parcialmente refletido ao encontrar qualquer descontinuidade no meio, como uma mudança na densidade ou defeitos no próprio material ou obstáculo na frente, em seguida o sinal refletido volta ao receptor do sensor onde é medido o tempo que demorou desde que foi enviado até voltar, com isso e com a velocidade do som no ar, é medida a distância entre o sensor e a superfície do obstáculo.

Conta-se com disponibilidade de sensores de ultrassom no mercado nacional que podem ser acoplados em um sistema de registro de valores de modo a verificar a sensibilidade do equipamento às variações de altura de superfícies fluidas.

Vencida esta etapa, passou-se a considerar dois tipos de alimentação de energia para o sistema e, logo a seguir, pensou-se em um sistema de proteção para instalação sob intempéries do tempo.

Depois foi necessário encontrar uma solução para que o equipamento cumprisse com os requisitos do projeto, ou seja, que fosse automático, de medição contínua, confiável e de

baixo custo. Com isso foi escolhido um microcontrolador, um circuito integrado programável de integração, capaz de gerenciar e controlar os elementos conectados a ele, como são os diferentes sensores.

Uma vez que o equipamento apresentou resposta e esteve pronto para avaliação ambiental, foram registrados dados em sistema natural com suficiente variação de maré.

Os dados obtidos foram analisados seguindo os valores obtidos simultaneamente por outros equipamentos importados, como marégrafos e estações meteorológicas (marcas HOBECO e Campbell) e também com modelos de maré colocados em rotina por mais de 50 anos exibindo um alto grau de confiabilidade (modelos de maré utilizados pelo IOUSP).

O equipamento concebido foi avaliado em termos de custo de modo a verificar a sua viabilidade de reprodução e instalação.

3.2 Avaliação Ambiental – conhecimento de parâmetros hídricos básicos para o conhecimento de áreas costeiras sob regime de maré.

3.2.1 Dados climatológicos

3.2.1.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar foi obtida em dados da estação meteorológica portátil do CPTEC.

3.2.1.2 Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos nas bases de dados das agências com estações pluviométricas disponíveis como o DAEE, do INMET e do CIIAGRO.

3.2.1.3 Medidas de Maré

Foi utilizado o equipamento desenvolvido neste trabalho e os dados disponíveis nas estações do DAEE e geradas pelo modelo de maré do IOUSP – LABDADOS (IOUSP, 2019).

3.2.1.4 Amostragem da água de superfície

Todas as amostras foram coletadas sempre da superfície da água (0 m) com o auxílio de um coletor com torneira “tipo balde” (Figura 2).

Figura 2. Coletor para água de superfície e reagentes para “fixar o oxigênio e o N-amoniacoal.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

3.2.2 Temperatura da água

A temperatura da água *in situ* foi medida utilizando-se termômetros simples com leitura em graus Celsius com precisão de $\pm 0,5$ °C.

3.2.3 Salinidade

A amostra de água para determinação da salinidade foi coletada de superfície em frasco de vidro âmbar. A determinação foi realizada no Laboratório de Biogeoquímica de Nutrientes, Micronutrientes e Traços nos Oceanos (LABNUT) de acordo com método indutivo com o auxílio de um salinômetro marca *Beckman, RS10*, com precisão de $\pm 0,005$, com unidades apresentadas em unidade de salinidade prática (UPS).

3.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

As amostras para a análise de pH foram coletadas com cuidado para não fazer bolhas e analisadas no laboratório da Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho do IOUSP, com o auxílio do pHmetro *Orion P210A*, precisão de $\pm 0,001$, seguindo as recomendações de Aminot e Chaussepied (1983).

3.2.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

As amostras coletadas com cuidado para não fazer bolhas foram analisadas no laboratório da Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho, do IOUSP em Cananéia, de acordo com metodologia proposta por *Winkler (1888)*, como apresentada por Grasshoff *et al.* (1983), utilizando um titulador *Metrohm* automático (Figura 3), com precisão de $\pm 0,02$ mL L⁻¹ para teores de 2 mL L⁻¹ e $\pm 0,04$ mL L⁻¹ para teores superiores.

Figura 3. Equipamento Metrohm do LABNUT-IOUSP para análise do oxigênio dissolvido.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

3.2.6 Nutrientes dissolvidos – analisados no Laboratório de Biogeoquímica de Nutrientes, Micronutrientes e traços nos oceanos (LABNUT-IOUSP)

Para a determinação dos nutrientes principais fosfato, silicato, nitrito e nitrato foi coletada uma amostra de água em um frasco de plástico de 2L, acondicionado ao abrigo da luz e mantido sob refrigeração ($-4,0^{\circ}\text{C}$) até o momento da filtração. Em laboratório, junto a Base de Pesquisa Dr. João Paiva de Carvalho IO-USP, procedeu-se a filtração em filtros de fibra de vidro de porosidade nominal de $0,45\mu\text{m}$ da marca GF/F da marca Whatman®, para separar a fração dissolvida (menor que $0,45\mu\text{m}$) e a particulada (maior que $0,45\mu\text{m}$). Dos filtrado se retirou alíquotas para as análises de nutrientes. O N-amoniacoal foi retirado diretamente do coletor com torneira.

3.2.6.1 Silicato dissolvido

Os teores de silicato dissolvido nas amostras de água foram determinados, no LABNUT, segundo o método colorimétrico descrito por Grasshoff *et al.* (1983), com absorbância medida em 810 nm, utilizando espectrofotômetro SP-22 da Bioespectro®. O limite de detecção do método, em cubetas de 1 cm de trajeto óptico, é de 0,01 $\mu\text{mol L}^{-1}$, precisão do método é de $\pm 0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$.

3.2.6.2 Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID)

A determinação do fosfato dissolvido foi realizada no LABNUT, baseada no método colorimétrico descrito por Grasshoff *et al.* (1983), a absorbância das amostras foi lida em 880 nm, utilizando espectrofotômetro SP-22 da Bioespectro®. O limite de detecção do método, em cubetas de 5 cm de trajeto óptico, é de 0,01 $\mu\text{mol L}^{-1}$, precisão do método $\pm 0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$.

3.2.6.3 N-amoniacal

Essas amostras foram retiradas diretamente da garrafa, sendo os reagentes adicionados durante a coleta. As amostras foram armazenadas ao abrigo da luz. A metodologia utilizada é a descrita por TRÉGUER e LE CORRE (1975), apresentando uma precisão de $\pm 0,05 \mu\text{M-N-amoniacal}$.

3.2.6.4 Nitrato e Nitrito

Foram determinados em equipamento automático –*AutoAnalyzer II (Bran-Luebbe®)*. A metodologia específica para análise será em fluxo contínuo com arraste por bolhas baseada em GRASSHOFF *et al.* (1983); TRÉGUER & LE CORRE (1975) e BRAGA (1997). A determinação do nitrato envolve o uso de coluna de cádmio cuperizado para a redução do nitrato a nitrito. O valor de nitrito total (nitrito + nitrato reduzido) menos o valor do nitrito fornece o valor de nitrato. A precisão do método para nitrito é de 0,01 µM e para nitrato é de 0,02 µM.

3.2.6.5 Material Particulado em Suspensão (MPS) e Material Orgânico Particulado em Suspensão (MOPS)

As determinações do material particulado em suspensão e do material orgânico particulado em suspensão foram realizadas no LABNUT, segundo o método proposto por Strickland e Parsons (1968), utilizando com filtros de fibra de vidro de porosidade nominal de 0,45µm da marca GF/F Whatman®, pré-pesados em balança Bel *Engineering®*, modelo MARK 210A, com precisão de $\pm 0,0001$ g. Os valores finais de MPS foram expressos em mg L⁻¹, seguindo a fórmula apresentada por Grasshoff *et al.* (1983) e Aminot e Chaussepied (1983) (Figura 4).

Figura 4. Equipamento para filtração em vácuo do material em suspensão.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

3.3 Tratamento dos dados

Os dados registrados pelo equipamento desenvolvido foram testados tendo como referências os dados obtidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e pelos dados do IOUSP para verificação da qualidade e confiabilidade nos registros.

Os dados do corpo hídrico foram usados para avaliar as variações de propriedades acompanhando a mudança de registro de nível d'água em local costeiro, de modo a evidenciar quais propriedades mais acompanham as mudanças de nível d'água e que podem se somar aos critérios para avaliação de risco de eventos extremos em regiões costeiras para serem sugeridos aos postos e autoridades na questão da segurança.

Os dados ambientais foram colocados em planilhas e tratamento estatístico básico foi aplicado para a avaliação, acoplado à variação de nível do corpo hídrico.

4. RESULTADOS

4.1 Desenvolvimento do equipamento

Utilizando conhecimento de automação e trabalhando em conjunto com engenheiros eletrônicos e da computação do IOUSP, foi desenvolvido um protótipo do sistema de medição do nível da água.

Para o desenvolvimento do equipamento de registro contínuo do nível hidrológico foram utilizados vários componentes descritos a seguir:

4.1.1 Adequação do controlador

Foi utilizado o Arduino, como plataforma de prototipagem eletrônica que possui software e hardware de livre acesso. Arduino também é o nome da marca de diferentes placas eletrônicas e uma serie de ferramentas de baixo custo de acesso livre para adaptações em diferentes projetos. A linguagem de programação utilizada é baseada em C e C++, e é própria da interface Arduino *Integrated Development Environment* (IDE).

O componente principal do equipamento de medição é o microcontrolador Arduino Mega2560 (Figura 5). É nele que é feita toda a programação que faz os dados serem medidos, armazenados e enviados para a rede. Ele utiliza um microcontrolador ATmega2560 e um regulador de tensão de 5V que permite utilizar uma alimentação entre 7 e 12 Volts (ARDUINO, 2017).

Figura 5. Microcontrolador Arduino Mega 2560.

Fonte: ARDUINO, 2017.

O circuito pode ser representado da seguinte forma na Figura 6:

Figura 6. Diagrama elétrico do microcontrolador Arduino Mega 2560.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1.2 Sensor de distância

O sensor utilizado para realizar a medição da variação do nível na superfície do corpo fluido foi um sensor de distância disponível no mercado e que utiliza ultrassom para determinar a distância em um intervalo entre 25 a 450 cm. Outras das características do sensor que se destacam além da resistência à água são seu baixo custo e seu baixo consumo de energia.

O funcionamento do sensor é o seguinte: emite-se um pulso de som (TRIG), mede-se o tempo que o pulso demora em retornar (ECHO), e se calcula a distância com a diferença dos tempos entre o pulso do TRIG e do ECHO.

O sensor ultrassônico utilizado foi o JSN-SR04T (Figura 7), ele conta com uma placa eletrônica que se ocupa de fazer o cálculo da distância entre o sensor e a próxima superfície em frente, e a conexão com o microcontrolador.

Figura 7. Sensor ultrassônico JSN-SR04T.

Fonte: (FILIPEFLOP, 2018).

O circuito pode ser representado também na Figura 8.

Figura 8. Diagrama elétrico do equipamento contendo o microcontrolador controlador Arduino e o sensor de distância ultrassônico.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1.3 Painel eletrônico

O visor *Liquid Cristal Display* (LCD) é um componente importante para o equipamento de medição, dessa forma temos uma retroalimentação do estado da medição, com ajuda da programação no microcontrolador ele mostra o valor da distância e o estado do resto dos componentes, o que facilita a validação do funcionamento.

O painel eletrônico utilizado foi o LCD Nokia 5110 (Figura 9) compatível com o microcontrolador, de baixo consumo e baixo custo. Ele é um display gráfico monocromático que conta com luz de fundo em *LED* (*Light-Emitting Diode*, ‘diodo emissor de luz’) que facilita a visualização dos dados na tela.

Figura 9. Painel LCD Nokia 5110.

Fonte: (FILIPEFLOP, 2018).

O circuito pode ser representado também como na Figura 10.

Figura 10. Diagrama elétrico do equipamento contendo microcontrolador Arduino, sensor ultrassônico e painel eletrônico.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.1.4 Armazenamento de dados

Foi necessário acoplar ao equipamento de medição um *Data Logger Shield*. São chamadas de *Shield* as placas eletrônicas de expansão que contém circuitos eletrônicos que permitem desempenhar diferentes funções e que podem ser conectadas diretamente na placa do microcontrolador. Com isso, ela mantém comunicação direta e é alimentada diretamente pelo controlador. Essa placa de expansão tem a função de armazenar os dados medidos pelo sensor em um cartão de memória junto com a hora e data fornecida por um relógio em tempo real (RTC) embutido na mesma placa. Assim, os dados registrados pelo sensor podem ser acessados facilmente retirando o cartão e reinserindo em qualquer computador para leitura.

A placa pode ser observada na Figura 11, já acoplada ao microcontrolador junto com o resto dos componentes do equipamento de medição, com exceção da fonte de alimentação.

Figura 11. Protótipo de equipamento de medição com todos os elementos eletrônicos acoplados.

Foto: (GÓMEZ, C, 2018).

O circuito pode ser representado como na Figura 12.

Figura 12. Diagrama elétrico contendo o microcontrolador Arduino, o sensor ultrassônico, o painel elétrico e a placa de armazenamento.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Com esse protótipo foram feitos todos testes. Depois de assegurar que os dados registrados estivessem certos e com uma precisão de até 0,5 cm na superfície sólida, foi feita uma visita à cidade de Iguape, e o protótipo foi testado com as variações da superfície do rio.

4.1.5 Fontes de alimentação

Para escolher a fonte de alimentação necessária para o equipamento de medição foram considerados primeiramente a voltagem de entrada necessária para que o microcontrolador funcionasse adequadamente, que é de 7 a 12 volts, e a localização da instalação do equipamento de medição. Sendo assim, foram utilizadas duas fontes de alimentação para fazer os testes.

Todas as provas, com exceção da última, foram feitas com ajuda de uma bateria de 12 volts para facilitar o transporte e as medições em lugares onde não se tinha acesso à tomada elétrica.

Para a instalação final previu-se a utilização de uma fonte de alimentação de 9 volts (Figura 13) com transformador de corrente alternada para direta.

Figura 13. Fonte de alimentação de 9 volts com transformador de corrente.

Fonte: (FILIPEFLOP, 2018)

4.1.6 Compactação e proteção do equipamento

Para a instalação do equipamento foi necessário considerar dois aspectos: que os elementos do equipamento são todos elétricos ou eletrônicos, e que o local de instalação deverá ser sempre perto do corpo hídrico, o que representa umidade para o equipamento.

Para evitar danos no equipamento por causa da umidade, foi consultado o grau de proteção IP (*International Protection Rating*), que é uma norma definida pelo padrão internacional IEC 60529 (*International Electrotechnical Commission*) que tem como finalidade avaliar e classificar o grau de proteção da estrutura que envolve os produtos eletrônicos ou elétricos contra a intrusão de corpos sólidos, poeira e água. O código é construído pelo seguinte:

- Primeiras duas letras: siglas em inglês para *International Protection*.
- Primeiro dígito: proteção contra entrada de partículas sólidas.
- Segundo dígito: proteção contra entrada de líquidos.
- Terceira letra opcional: outras proteções.

Assim, foi concluído que a proteção necessária para que o equipamento funcione em condições ótimas deve ser de pelo menos IP65, que indica o seguinte:

- Primeiro dígito: proteção completa contra poeira
- Segundo dígito: proteção contra jatos leves de água

Isto considerando que para que o sensor ultrassônico funcione adequadamente precisa de uma distância mínima de 25 cm da superfície da água.

4.1.7 Calibração dos dados do sensor

Para comprovar a eficiência do equipamento foi feita uma comparação entre os valores adquiridos e os valores do nível registrados nas bases de dados de diferentes agências, como o DAEE e o IOUSP.

Vale a pena ressaltar um ponto antes de mostrar os resultados. O dado que o sensor ultrassônico gera é a distância entre o sensor e a superfície mais próxima, ou seja, a superfície da água. Portanto, para conseguir fazer a comparação é necessário obter a altura entre a superfície e o fundo, o que equivale à altura do nível do rio.

Por conseguinte, os valores adquiridos pelo sensor que serão validados em seguida não serão dados da altura do nível, mas sim a amplitude do aumento ou diminuição do nível com ajuda dos gráficos. Sendo assim, os dados obtidos pelo equipamento serão convertidos utilizando como referência, o primeiro dado a comparar (Figura 14).

Figura 14. Ilustração do esquema utilizado para conversão do nível da água. Observa-se a posição do sensor ultrassônico, a medida da altura do sensor e o nível da água.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.2 Medidas testes *in-situ*

Os testes foram realizados *in-situ* em corpos hídricos localizados em três diferentes cidades do sul do estado de São Paulo: Iguape, Cananéia e Registro (Figura 15). A motivação foi ter medições suficientes para comprovar a eficiência do equipamento de medição em

diferentes superfícies líquidas, sendo que em Registro a superfície medida foi um rio, em Iguape um estuário, com grande influência da presença do Valo Grande, e em Cananéia um estuário influenciado pelo regime de maré

Figura 15. Mapa da região de estudo - Cidades de Cananéia, Iguape e Registro (SP).

Fonte: Modificado do Google Maps (GOOGLE, 2018).

Na Tabela 1 se mostra o local, data, duração da amostra e os parâmetros coletados para cada medição.

Tabela 1. Resumo dos pontos de amostragem com local, data, duração e parâmetros medidos.

Local	Data	Duração (aprox.)	Parâmetros
Iguape	30/03/18	3 h	Nível
	31/03/18	4 h	Nível
	25/04/18	2 h	Nível
Registro	24/04/18	2 h	Nível

Local	Data	Duração (aprox.)	Parâmetros
Cananéia	23/08/17	12 h	Nível
	04 e 05 ⁶ /07/18	39 h	Nível e Parâmetros hídricos ⁷
	22 e 23/08/18	39 h	Nível e Parâmetros hídricos

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.1. Sistemas hídricos – Rio Ribeira de Iguape – Valo Grande, Iguape (SP)

Foram realizadas medidas de variação do nível do Rio Ribeira de Iguape na ponte do Valo Grande em Iguape (SP), nas coordenadas: 24°41'40.7"S 47°34'03.0"W. A comparação dos dados obtidos com o equipamento desenvolvido foi feita utilizando os registros realizados pela estação de Valo Grande Montante do (DAEE) que se encontra próxima ao local de coleta (Figura 16). Esta última é uma estação meteorológica da marca HOBECO usada na rede telemétrica da Bacia do rio Ribeira de Iguape. Os dados da estação foram descarregados da Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Águas (ANA).

⁶ Dia 05/07/18 não foi possível coletar temperatura, OD, N-amoniaco e NID.

⁷ Parâmetros hídricos: Temperatura da água, Salinidade, Oxigênio dissolvido, pH, Silicato dissolvido, Fosfato dissolvido, MPS, MOPS, Nitrato, Nitrito, N-amoniaco e NID.

Figura 16. Localização da estação meteorológica do DAEE, perto do Valo Grande em Iguape, SP.

Fonte: Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA. Mapa das estações (SNIRH, 2019)

As medidas no Valo Grande foram realizadas sobre a ponte da Avenida Carvalho Pinto (Figura 17) no início do outono, praticamente fechando o verão.

Figura 17. Ponte do Valo Grande em Iguape, SP. (30/03/18).

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

Assim, encerrando a estação chuvosa como mostra a precipitação mensal do ano 2018 (Figura 18a), a amostragem foi realizada em março e a pluviosidade dos dias anteriores está na (Figura 18b). Pode-se ser observado que a precipitação registrada nos dias anteriores mostrou valores de precipitação ainda importantes na região ($\sim 50\text{mm}$), o que pode explicar os valores altos de nível registrados pelo sensor e estação meteorológica.

Figura 18. a) Dados de pluviometria mensal do ano 2018, b) Precipitação acumulada por dia na estação do INMET, em Iguape, nos dias prévios à medida do nível (30-31/03/2018)

Fonte: Rede de estações do INMET

As medidas foram feitas no dia 30 de março de 2018, após uma pequena estiagem, no período da tarde das 14h20 às 17h40, quando o céu apresentava nebulosidade parcial e a correnteza tinha velocidade média. Na Figura 19 pode ser observada a comparação dos dados medidos pelo sensor e os dados registrados pela estação meteorológica do DAEE.

Figura 19. Série temporal de dados obtidos com o sensor de nível desenvolvido e dados do DAEE, dia 30/03/18 em Iguape, SP.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios e do DAEE.

Observa-se a coincidência nas medidas no momento em que o sensor foi calibrado com o dado do DAEE, às 14h20, observando-se uma deriva a partir de 15h até cerca de 16h. Em seguida houve manutenção de uma regularidade na diferença dos valores de aproximadamente 10cm observada até o final do período de medida.

No segundo dia de medidas, 31 de março de 2018, as observações iniciaram mais cedo (10h46), o céu estava mais encoberto, com nuvens mais densas e mais vento. A turbulência nas águas estava maior como mostra a Figura 20. Os dados de nível da água obtidos com o uso do equipamento desenvolvido foram comparados com os dados registrados pela mesma estação meteorológica do DAEE citada anteriormente e são observados na Figura 21.

Figura 20. Observação da turbulência registrada no rio Ribeira de Iguape perto do Valo Grande (SP) (31/03/18).

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

Figura 21. Série temporal de medidas obtidas com o sensor de nível desenvolvido e dados do DAEE do dia 31/03/18 em Iguape, SP

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios e do DAEE

Pode-se observar que a comparação do sensor em relação às medidas do DAEE foi melhor que no dia anterior, sendo que no início da medição o sensor teve uma diferença de 3 cm a mais até às 12h30, porém a partir das 13h50 a diferença foi aumentando até chegar em aproximadamente 8cm às 14h30.

No mês de abril de 2018 foi possível realizar mais uma medição no Valo Grande. Na Figura 22, observa-se o local sob a ponte onde os registros foram realizados no dia 25 de abril de 2018, das 10h34 às 12h37 pelo equipamento desenvolvido. Logo abaixo desta ponte se localizam as antigas comportas do Valo Grande.

Figura 22. Equipamento realizando o registro de dados de nível da água na ponte do Valo Grande em 25/04/18.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

A Figura 23 mostra mais uma série temporal de medidas de nível da água registrada pelo sensor e comparada com os dados registrados pelo equipamento do DAEE mencionado anteriormente.

Figura 23. Série temporal de medidas de nível d'água do Rio Ribeira de Iguape, na altura do Valo Grande, registradas pelo sensor e pela estação do DAEE em 25/04/18.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios e do DAEE.

Nesta etapa era esperado a diminuição do nível da água do Rio em relação aos níveis registrados anteriormente considerando o início do período sazonal de seca, uma vez que houveram apenas duas precipitações significativas, uma no início e outra na metade do mês (~10 mm), como pode ser observado na Figura 24.

Figura 24. Gráfico de chuva acumulada por dia em Iguape (SP), nos dias prévios à medição de nível do 25/04/18.

Fonte: Rede de estações do INMET (INMET, 2019)

Nesta série temporal de medidas, os valores de nível da água registrados foram bem próximos mostrando maior eficiência na capacidade do equipamento desenvolvido realizar medidas que podem ser usadas para indicação de nível da água. Observou-se uma diferença máxima de aproximadamente 3cm entre às 11h15 e às 11h45, havendo assim uma melhoria em comparação às medidas anteriores, mesmo sendo uma coleta com duração menor (apenas 2 horas).

4.2.2. Sistemas hídricos: Rio Ribeira – Registro (SP)

Foi feito um registro de nível de água no Rio Ribeira, mais a montante, na cidade de Registro, no dia 24 de abril, com duração de 2 horas. As medições foram feitas na frente do local onde encontra-se a Diretoria de Bacia do Ribeira de Iguape e Litoral do Sul do DAEE, nas coordenadas: 24°29'23.6"S 47°50'11.2"W. Houve contato com a equipe responsável pela rede telemétrica da Bacia, que deu apoio e acesso aos dados das estações meteorológicas. Eles facilitaram a coleta perto do equipamento do Departamento e proporcionaram algumas informações sobre os equipamentos da rede. No dia da coleta, o céu estava parcialmente nublado e a correnteza do rio visivelmente calma como se observa na Figura 25.

Figura 25. Imagem do rio Ribeira de Iguape, próximo à ponte da BR 116, no dia 24/04/18 em Registro, SP.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

Durante o período de amostragem foram observadas pequenas alterações na superfície do rio causadas pelas ondas geradas com o passar de lanchas perto do local (Figura 26). Tendo em conta o início do período de seca, pode-se dizer que a variação observada se encontra dentro dos parâmetros normais para seca e com mínima alteração no nível. Na Figura 27, mostra-se a chuva acumulada nos dias anteriores às medidas, onde se observa apenas um dia de chuva forte.

Figura 26. Compilação de fotografias do equipamento fazendo a coleta de dados em Registro (SP), no dia 24/04/18.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018).

Figura 27. Gráfico de chuva acumulada por dia em Registro (SP), nos dias prévios à medição de nível do 24/04/18.

Fonte: Rede de estações do INMET (INMET, 2019).

Lembra-se que a validação dos dados registrados pelo equipamento desenvolvido é feita por comparação da variação de nível considerando como referência os dados de estações da rede oficial de medidas, porém nessa ocasião não foi possível encontrar uma estação fluviométrica ou meteorológica em funcionamento na região. Portanto, foi preciso fazer a comparação dos dados com a régua instalada e mantida pelo próprio DAEE bem ao lado do local de medição (Figura 28). Contudo, no período de observação, o nível do rio não sofreu variação, dado o curto período de registro e a falta de chuva nos dias precedentes.

Figura 28. Régua instalada no rio Ribeira de Iguape (à esquerda) e ampliação da medida da régua com sinalização de 24cm (à direita).

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2018)

Na Figura 29 pode-se observar uma pequena variação de nível às 11h59 de aproximadamente 3cm que pode ser justificada pelas pequenas embarcações que transitam pelo rio e provocam pequenas ondas na superfície.

Figura 29. Série temporal do nível da água do Rio Ribeira, registrados pelo sensor e pela régua do DAEE em Registro (SP) no dia 24/04/18. A linha vermelha corresponde a observação pontual, não contínua.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.2.3. Sistemas hídricos – Estuário de Cananéia – Base Sul, Dr. João de Paiva Carvalho do IOUSP, em Cananéia (SP).

O primeiro teste feito pelo equipamento desenvolvido ocorreu junto à Base do Instituto Oceanográfico da USP nas coordenadas: 25°01'12.6"S 47°55'30.0"W e ocorreu em 23 de agosto do 2017 (antes mesmo dos testes feitos no Rio Ribeira). O período era de seca e o dia estava encoberto, a precipitação no início do mês foi baixa, porém nos dias anteriores e no próprio dia de registro foi de 19 – 45 mm (Tabela 2), segundo o registro da estação meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), a única estação em funcionamento nessa data, com dados de Cananéia, SP. Assim, os valores foram obtidos em um dia com céu encoberto, nebulosidade pesada e chuvas esporádicas.

Tabela 2 Precipitação acumulada em Cananéia (SP), a cada 5 dias no mês de agosto.

Período	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)
01/08/17 a 05/08/17	21,37	2,29
06/08/17 a 10/08/17	20,11	3,30
11/08/17 a 15/08/17	19,62	3,30
16/08/17 a 20/08/17	18,29	19,05
21/08/17 a 25/08/17	17,99	45,72

Fonte: Elaborada pelo autor extraído de Comitê de Bacias Hidrográficas do Ribeira do Iguape Litoral Sul do CIIAGRO (CIIAGRO, 2019).

O equipamento desenvolvido foi instalado temporariamente no píer da Base Sul do IOUSP para fazer as medições do nível do mar, onde estava instalada uma estação meteorológica (Figura 30), a qual apresentou problemas e não estava operando no período.

Figura 30. (a) Estação meteorológica da base Sul do IOUSP; (b) posição do equipamento de medição na base do píer com o sensor ultrassônico direcionado para a água; (c) visão do equipamento fazendo a medição do nível com uma bateria de 12V como fonte de alimentação. Cananéia (SP) no dia 23/08/17.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2017)

Foram usados os dados do modelo de previsão de maré disponíveis na página de internet do IOUSP (<http://www.io.usp.br>) como referência para avaliar as medidas obtidas

pelo sensor, dado que o modelo tem um nível alto de assertividade. Desta forma foi construída a curva de maré (Figura 31), onde são mostrados os dados entre 09h46 e 21h24, observando-se maior coincidência a partir de 15h44.

Figura 31. Valores de nível da água obtidos pelo sensor e obtidos do modelo de previsão de maré do IOUSP

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios e do IOUSP (IOUSP, 2017).

4.3 Medidas de nível d'água acompanhadas de medidas ambientais em Cananéia (SP)

Uma série de medidas temporais foi realizada em Cananéia, junto à Base Sul, Dr. João de Paiva Carvalho do IOUSP, local onde a variação do nível do corpo hídrico é considerável, ou seja, em um sistema hídrico que está sob influência do regime de maré. As observações neste local favorecem a observação da eficiência das medidas realizadas pelo equipamento com o suporte adequado para realização de observação por longo período e oferecem estrutura para a realização de ajustes no equipamento quando necessário e ainda, permitem a coleta de água para análise de outras variáveis ambientais que podem auxiliar no alerta do sinal de elevação do nível do corpo hídrico, podendo para ser incorporadas em um plano de gerenciamento.

4.3.1 Medida da variação do nível – primeiro registro

Foi realizada a primeira medição contínua de nível da água para iniciar a avaliação junto aos dados ambientais, com uma duração de 39h na Base Sul do Instituto Oceanográfico, nos dias 4 e 5 de Julho de 2018, sendo possível comparar os dados registrados pelo equipamento desenvolvido com os dados registrados pelo marégrafo (marca Campbell modelo CR1000) acoplado à estação meteorológica instalada na Base Sul (IOUSP), no mesmo local das medidas. As curvas de maré do modelo de previsão, dos registros do marégrafo e do equipamento encontram-se na Figura 32.

Figura 32. Curva de maré comparando dados do equipamento desenvolvido e dados do marégrafo e da previsão de maré do IOUSP.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios e do IOUSP

Pode-se observar que as medidas registradas pelo equipamento acompanham muito bem as medidas do marégrafo (Campbell CR1000), tendo maior diferença nos picos de maré alta, com uma diferença menor a 7cm em relação ao modelo de previsão, porém com alta coincidência com as medidas *in situ* do marégrafo do IOUSP (IOUSP, 2018).

4.3.2 Avaliação temporal de variação do nível da água e das propriedades físicas e químicas associadas

Cananéia - 4 julho 2018

A variação da maré foi registrada no dia 4 de julho, das 9h36 às 23h56 pelo sensor e os valores do marégrafo e modelo de previsão foram obtidos no IOUSP. A variação do nível mostrou um perfil de maré de sizígia com vales e pico bem definido, com altura máxima de 1,20 m. Na Figura 33 se observam apenas os registros do nível da maré obtidos com o equipamento desenvolvido, junto com os horários de coleta de água marcados.

Figura 33. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 04/07/18, em Cananéia, SP.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As condições meteorológicas observadas durante o dia foram de céu fechado (8/8) sem chuva como se mostra na Figura 34.

Figura 34. Imagem do Mar Pequeno (Cananéia, SP), com céu visivelmente nublado, em Cananéia, SP no dia 04/05/18.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2017).

Nos horários de coletas, a maré variou de 33 cm até 110 cm, mostrando um vale (14h) e um pico (18h) (Figura 35a). Observando a temperatura, o menor valor foi registrado no primeiro horário de coleta, com o valor de 20,30°C e o máximo foi de 20,80 °C observado às 16h (Figura 35b). No caso da salinidade o menor valor observado (23,81) ocorreu às 16h sob influência da maré vazante que é marcada pela maior presença de água menos salina (Figura 35c). Os valores sempre estiveram abaixo de 30, mostrando a presença de água salobra. Os valores de oxigênio dissolvido (OD) (Figura 35d) sempre estiveram acima de 5,00 mL L⁻¹, com pequena queda às 22h permanecendo acima de 5,00 mL L⁻¹. Dois picos foram observados, um às 12h e outro às 18h. Os valores de pH (Figura 35e) estiveram sempre acima de 8, sendo que o valor mais baixo foi observado às 14 acompanhando o mínimo de maré e a menor salinidade (menor nível registrado).

Figura 35. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Observando a distribuição do silicato dissolvido, o maior valor ($45,45 \mu\text{mol L}^{-1}$) foi obtido às 14h, período de menor nível de maré e maior contribuição do interior do sistema ao corpo hídrico, a medida que a salinidade foi aumentando, ou seja maior influência oceânica, os valores de silicato foram diminuindo, chegando a $22,06 \mu\text{mol L}^{-1}$, com um pequena anomalia às 16h (Figura 36b). O fosfato deveria apresentar comportamento semelhante ao do silicato, o que ocorreu até às 14h, porém após a anomalia das 16h, ocorreu um aumento de

fosfato que deve estar associado ao início da maré enchente (Figura 36a) e a algum processo de ressuspensão de sedimento, com máximo de $1,33 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 36c). O material particulado em suspensão (MPS) sempre esteve alto no período de maré vazante apresentando uma anomalia às 16h (Figura 36d) e uma diminuição em maré alta (elevação do nível da água) acompanhado pela componente orgânica como mostra a Figura 36e.

Figura 36. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Observando os componentes nitrogenados na água, o nitrato mostrou o maior valor ($3,17 \mu\text{mol L}^{-1}$) associado ao menor nível de maré (14h) (Figura 37b), com pequena anomalia às 16h. O nitrito mostrou distribuição semelhante tendo o máximo valor de $0,61 \mu\text{mol L}^{-1}$, diminuindo no final do período (Figura 37c). O N- amoniacal mostrou um valor máximo ($4,85 \mu\text{mol L}^{-1}$) às 18h (Figura 37d) acompanhando o Material Orgânico em Suspensão. O NID, que é somatória das formas nitrogenadas, mostrou a tendência geral com a participação do alto valor de N-amoniacal, às 18h destacando o valor neste horário (Figura 37e).

Figura 37. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 04/07/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniacal; e) NID.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Cananéia – 5 julho 2018

No dia 5 de julho, os dados variação de maré registrados pelo equipamento no período das 8h às 23h30 estão na Figura 38, com as amostragens de águas iniciando às 9h.

Figura 38. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 05/07/18, em Cananéia, SP.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

A variação da maré nesse dia também mostrou perfil de sizígia com vale e picos bem definidos e altura máxima de 1,4 m às 19h37. As condições meteorológicas mudaram um pouco durante o dia, sendo que no início do dia, o céu se encontrava encoberto (8/8) e sem chuva, mas no transcurso da manhã, o céu foi abrindo até ficar sem nuvens (0/8) como se observa na Figura 39, tomada às 10h43.

Figura 39. Imagem do Mar Pequeno, com céu visivelmente aberto, em Cananéia, SP no dia 05/05/18.

Fonte: Foto (GÓMEZ, C 2017).

No dia 5 de julho não foi possível fazer as medições de temperatura, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal de modo que o nitrogênio inorgânico dissolvido não pode ser apresentado. Ocorreram algumas dificuldades técnicas neste dia.

Os valores de salinidade variaram de 22,64 a 25,96 sendo que o valor máximo observado ocorreu às 9h ocorrendo durante primeiro pico de maré alta e começou a descer junto com maré vazante (Figura 40a) até atingir o valor mais baixo às 17h, com um pequeno aumento às 13h (Figura 40b). Neste segundo dia, ocorreu um valor abaixo de 8 (7,99) de pH às 13h (Figura 40c), acompanhando o mínimo de altura de maré e um pouco antes do mínimo de salinidade. Os valores em maré mais alta e acompanhando os maiores de valores de salinidade se mantiveram acima de 8 com pequenas variações. Neste dia, o MPS (Figura 40d) aumentou e diminuiu acompanhando a entrada e saída da maré, e do mesmo modo que ocorreu com o MOPS (Figura 40e). Ambos apresentaram níveis mínimos às 11h e máximos às 19h acompanhando os movimentos de vazante e enchente no sistema.

Figura 40. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 05/07/18: a) variação de nível; b) salinidade; c) pH; d) MPS; e) MOPS.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

A distribuição do silicato (Figura 41b) mostrou um aumento às 13h na maré vazante e o maior valor ($46,74 \mu\text{mol L}^{-1}$) às 17h e mínimo ($36,74 \mu\text{mol L}^{-1}$) no início do dia, às 9h, quando a maré ainda estava alta (Figura 41a). O fosfato acompanhou o comportamento do silicato, com um aumento às 11h, e um valor máximo às 19h ($1,17 \mu\text{mol L}^{-1}$) e mínimo ($0,86 \mu\text{mol L}^{-1}$) no início do dia. (Figura 41c). Os componentes nitrogenados (Figura 41e) mostraram comportamentos similares ao silicato e fosfato sendo que o nitrito também

aumentou às 11h (Figura 41d), mas o nível máximo foi às 19h ($0,61 \mu\text{mol L}^{-1}$) e mínimo às 13h ($0,52 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Figura 41. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 05/07/18: a) variação de nível; b) silicato; c) fosfato; d) nitrito; e) nitrato.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Cananéia – 22 de agosto 2018

A variação da maré no dia 22 de agosto de 2018, foi observada em um período das 08h51 às 23h56 estando o registro da variação de nível da água na Figura 42. Foi evidenciada uma maré de sizígia com um pico e um vale que não foi tão baixo quanto nas observações anteriores.

Figura 42. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 22/08/18 em Cananéia, SP

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Neste dia o céu se encontrou meio nublado, com chuviscos só na parte da manhã.

A temperatura variou de 19,50 °C a 20,00 °C (Figura 43b), sendo o maior valor observado às 14h30, enquanto no processo de maré vazante (Figura 43a), sendo que os menores valores foram observados no período da manhã. Os valores de salinidade estiveram sempre abaixo de 30 (Figura 43c) indicando a presença de água salobra no sistema, variando de 24,85 a 27,45, sendo que o maior valor foi observado exatamente no pico de maré alta (12h30). No caso do valor de OD (Figura 43d), todos estiveram acima de 5,00 ml L⁻¹ e com exceção do valor de 4,51 ml L⁻¹ observado às 16h30, próximo ao horário da menor maré. Os valores de pH variaram de 7,94 a 8,02 (Figura 43e) com diminuição associada a diminuição da salinidade e maré mais baixa, indicando a presença de água menos salina no sistema que normalmente corresponde a valores menores de pH.

Figura 43. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

O silicato apresentou os menores valores em maré alta (Figura 44a) e variou de 13,59 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a 19,39 $\mu\text{mol L}^{-1}$ com o valor máximo associado ao menor nível de maré, quando a água do interior do sistema está mais presente (Figura 44b). O fosfato variou pouco com valores entre 0,58 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 0,77 $\mu\text{mol L}^{-1}$, sendo o maior valor registrado no máximo de maré de uma forma diferente do esperado (Figura 44c) mostrando uma anomalia. O material

particulado em suspensão variou de $37,67 \text{ mg L}^{-1}$ a $54,67 \text{ mg L}^{-1}$ mostrando um valor alto na maré cheia, o que pode explicar a anomalia de fosfato (Figura 44d). O teor de matéria orgânica variou de $4,83 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,24 \text{ mg L}^{-1}$ também revela o maior valor junto a maré alta (Figura. 44e).

Figura 44. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

A distribuição dos nitrogenados mostra que o nitrito e o nitrato apresentaram os maiores valores junto com a maré mais baixa (Figuras 45b e c) enquanto o N- amoniacal teve também um valor mais acentuado às 12h30 em maré alta, concordando com a anomalia de silicato e fosfato (Figura 45d), muito provavelmente mais justificado pela presença de matéria orgânica no horário. Em função dos valores de N-amoniacal, o NID acompanhou os valores altos em maré alta as 12h30 (Figura 45e).

Figura 45. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 22/08/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniacal; e) NID.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Cananéia – 23 agosto 2018

No dia 23 de agosto de 2018, a curva de maré apresentou-se com perfil de sizígia mais acentuado que no dia 22 (Figura 46). Neste dia a partir das 08h25 foi feita uma alteração na programação do microcontrolador para mudar a frequência de amostragem, é por isso que pode ser observada uma mudança na linha do gráfico.

Figura 46. Curva de maré feita com dados do equipamento desenvolvido, com marcação do horário de coleta de água, do dia 23/08/18 em Cananéia, SP.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A distribuição de temperatura mostrou o menor valor ocorrendo às 8h30 no início do dia (Figura 47b) sendo que a variação foi de 19,60 °C a 20,40 °C. Neste período da manhã, também foi observado o menor valor de salinidade (22,87) sendo que o máximo ocorreu no máximo de maré (28,52) como mostra a Figura 47c. Os valores de oxigênio dissolvido (Figura 47d) variaram de 5,14 ml L⁻¹ a 5,27 ml L⁻¹, sendo sempre altos (>5,00 ml L⁻¹), mostrando uma pequena redução no início da maré enchente (Figura 47a) às 11h30. O perfil de pH por sua vez teve padrão muito similar ao da salinidade com variação entre 7,88 a 7,97, sempre um pouco abaixo de 8, diferentemente dos outros dias (Figura 47e).

Figura 47. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/18: a) variação de nível; b) temperatura; c) salinidade; d) oxigênio dissolvido; e) pH.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

Os valores de silicato variaram de $9,78 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $24,51 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 48b) sendo os menores valores encontrado na maré alta e os maiores em maré baixa (Figura 48a) mostrando o aporte continental. Os valores de fosfato dissolvido variaram de $0,60 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0,83 \mu\text{mol L}^{-1}$ também com o menor valor associado ao pico de maré alta (Figura 48c). Novamente os maiores valores de material particulado foram observados em maré alta e os valores variaram entre $49,41 \text{ mg L}^{-1}$ e $77,40 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 48d) enquanto os valores de

MOPS também foram maiores na maré alta (14h30) e os valores variaram de 4,71 mg L⁻¹ a 8,22 mg L⁻¹ (Figura 48e).

Figura 48. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/07/18: a) variação de nível; b) silicato dissolvido; c) fosfato dissolvido; d) MPS; e) MOPS.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

A distribuição dos nitrogenados encontra-se na Figura 49. O nitrato (Figura 49b) mostrou o menor valor associado à maré baixa (Figura 49a) como esperado e os valores variaram de 0,43 μmol L⁻¹ a 0,86 μmol L⁻¹. No caso do nitrito, o mesmo padrão de

distribuição foi observado (Figura 49c). O N-amoniacal variou de $2,40 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $3,59 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 49d) mostrando um pico na maré alta como o silicato e fosfato, porem deve estar associado ao material orgânico (Figura 48e). A somatória de nitrogenados inorgânicos tem um perfil com maior similaridade à distribuição do N-amoniacal. (Figura 49e).

Figura 49. Distribuição temporal das variáveis ambientais em Cananéia no dia 23/08/18: a) variação de nível; b) nitrato; c) nitrito; d) N-amoniacal; e) NID.

Fonte: Elaborados pelo próprio autor.

4.3 Proposta de plano de risco para inundações

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi necessário validar os dados do equipamento com outras estações meteorológicas com precisão mais alta, porém deparou-se com que muitas das estações na rede não estavam em funcionamento no período dos testes.

Durante uma visita à base do DAEE em Iguape, se teve contato com o monitor da base, quem explicou que a estação hidrológica instalada no local mede dados diários do nível do rio, pressão atmosférica e quantidade de chuva. Porém, por ser um equipamento importado e de alto custo é necessário que uma pessoa especializada faça a manutenção e conserto em caso de falhas no funcionamento, o que acaba demorando e, por consequência, alguns dados importantes são perdidos. No caso das estações meteorológicas que também servem a função de sistema de alerta, a falta de dados no sistema pode gerar falta de segurança à população.

Além disso, existem zonas costeiras e ribeirinhas onde não contam com sistema de alerta, seja por falta de orçamento ou por falta de atenção. O equipamento desenvolvido aqui, por ser de baixo custo pode ser instalado em maior escala ao longo do corpo hídrico.

O maior impacto por desastres naturais vem principalmente por causa de inundações (Figura 50), dado isso o acompanhamento contínuo da variação do nível dos corpos hídricos com sinal de alerta à população, poderia diminuir significativamente os danos por inundações. (UNISDR; CRED, 2015, p. 11, tradução nossa)

Figura 50. Porcentagem de ocorrências de desastres naturais, por tipo de desastre (1995 - 2005).

Fonte: Extraído de: (UNISDR; CRED, 2015, p. 11), e traduzido pelo próprio autor.

4.3.1 As implementações necessárias no equipamento

Uma vez comprovada a eficiência do equipamento nas medições de nível da água, ele pode ser adaptado dependendo do local final de instalação.

Por exemplo começando pela fonte de alimentação, existem duas opções, tomada elétrica ou bateria. A primeira opção é a mais simples, em razão de praticidade só precisaria de um adaptador de corrente alternada para direta e uma tomada elétrica para que o controlador funcione. No entanto, na maioria dos casos o acesso à eletricidade perto de um corpo hídrico geralmente é restrito. Portanto, a opção mais viável para esta aplicação seria o uso de bateria, tendo a possibilidade de usar baterias de longa duração, precisando assim, de trocá-la em cada determinado tempo, ou usar alguma outra fonte de recarga como um painel

solar. Para isso seria necessário calcular os watts necessários pelo controlador, pois isso irá variar com a frequência da rotina na programação e os elementos (sensores) acoplados a ele.

Outras implementações que poderiam que ser feitas seriam visando a melhoria do sistema de comunicação para que o sistema de alerta funcione de modo mais automático. Para isso será necessário a implementação de um meio pelo qual o equipamento se comunique com o usuário, seja passando primeiro por uma central que analise e valide os dados, ou de forma direta. Mas, talvez ainda mais importante é ter uma central de acesso remoto aos dados e ao estado do equipamento para garantir a veracidade dos valores e o funcionamento correto do equipamento.

Para isso foram testadas duas opções:

- Comunicação via *Global System for Mobile Communications* (GSM)
- Comunicação via ethernet

O dispositivo escolhido para este propósito foi o *Ethernet Shield W5100* (Figura 51). Esta placa de expansão tem a função de fazer a conexão do medidor com a rede de área local por meio de um cabo de rede conectado à entrada RJ-45 integrada na placa. Depois de fazer as devidas configurações e programações seria possível ler as informações desde qualquer ponto com acesso à Internet através de uma interface web.

Figura 51. Placa de extensão de Ethernet para Arduino

Fonte: (FILIPEFLOP, 2018)

A placa de rede também tem integrado um leitor de cartão de memória que facilita o armazenamento provisório dos dados em caso de perda de conexão. Dado isso, o único que faltaria para substituir a placa de extensão *Data Logger* utilizada no protótipo, seria de um relógio RTC, o qual é necessário para que os dados medidos pelo equipamento sejam armazenados junto com o dia e a hora real do registro, portanto, será necessário instalar um relógio externo. O equipamento escolhido foi um módulo RTC 3231 (Figura 52) que conta com um sensor de temperatura que faz ele ser muito mais preciso.

Figura 52. Relógio RTC 3231

Fonte: (FILIPEFLOP, 2018)

As provas foram feitas utilizando uma plataforma de serviços como base de dados para enviar os registros do equipamento para uma nuvem⁸, chamada *Heroku* ([HEROKU, 2018](https://heroku.com)). Posteriormente poderia ser considerado “subir” os dados na página de *internet* do IOUSP ou da agência interessada em fazer a alerta, ou criar uma página especial para o sistema de alerta. Temporalmente, os dados das provas feitas com o medidor poderiam ser acessados nesse *link* <http://dados-nivel.herokuapp.com/data>.

Essa primeira opção poderia ser considerada a mais confiável para o envio das informações, não obstante, nem sempre seria a mais viável. Para fazer a conexão à internet, seria necessária toda uma estrutura da rede telefônica mais alguns outros elementos como um *modem* e/ou *router* que são necessários na instalação. E considerando a natureza do problema

⁸ Rede global de servidores que oferecem diferentes serviços sob demanda para acesso em linha.

que se quer resolver com o plano de risco para enchentes, se espera pouca estrutura no local de instalação dos equipamentos.

Pensando nisso, foram feitos alguns testes usando um GSM *shield* (Figura 53) que se comunica por meio de uma tecnologia móvel digital para telefones celulares, e não precisa de muita mais estrutura do que ter sinal de rede de telefonia no local da instalação.

Figura 53. Placa de extensão GSM *shield*

Fonte: ARDUINO, 2017.

A placa de extensão escolhida funciona como um modem GSM para o controlador fazendo a conexão e enviando e recebendo os dados. Ela funciona com um cartão *Subscriber Identity Module* (SIM), da mesma maneira em que funcionaria um telefone celular.

Para a operadora de celular a placa de extensão é reconhecida como um telefone celular, com isso a conexão permite ser via mensagens, ligações ou via *internet*. O problema disso foi que no início de 2018 a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), começou a bloquear todos os aparelhos que utilizam chips de operadoras de telefonia móvel para acesso à rede como parte do projeto Celular Legal. Dessa maneira foi possível fazer alguns testes, mas depois de alguns dias o número foi bloqueado.

Os testes foram feitos fazendo uma ligação ao número celular do cartão SIM a qual respondia com uma mensagem contendo os valores em tempo real. Com isso era possível saber o estado do equipamento, a hora e data local, e a distância medida pelo sensor no momento.

Assim, as sugestões de implementações para ter comunicação a distância com o equipamento são as que foram testadas aqui, porém existem outras opções como de emissores via rádio ou *wi-fi*, que podem ser conectadas ao mesmo microcontrolador escolhido neste trabalho.

4.3.2 A formação de uma rede de medidores

Considerando o baixo custo do equipamento desenvolvido, ainda mais quando se compara com as estações hidrológicas que são usadas na atualidade para fazer medições do nível nos rios, poderia ser possível criar uma rede telemétrica, sobretudo em localidades onde ainda não conta com esse sistema. O acompanhamento dos dados de nível dos rios, além de proporcionar segurança à comunidade em volta, pode fornecer informações importantes para a pesquisa, isto em favor de conhecer e entender melhor os eventos naturais e extremos.

Quase no final do período do programa, o Departamento de Proteção e Defesa Civil da Casa Militar em São Paulo mostrou interesse no trabalho aqui apresentado, para a aplicação de uma rede de alerta de enchentes. Foi feita uma visita ao Palácio dos Bandeirantes em São Paulo, onde se apresentaram alguns resultados do equipamento desenvolvido e um esboço (Figura 54) do que seria uma rede telemétrica hipotética na Bacia do Rio Ribeira, instalando diversos medidores nas cabeceiras dos rios.

Figura 55. Sugestão de rede telemétrica de sinal de alerta

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

5. DISCUSSÃO

5.1 Técnico

O equipamento desenvolvido apresentou sinais com grandes similaridades aos registrados por equipamentos instalados em alguns pontos do sistema, podendo passar para a etapa de implementação e tomada de mais medidas para pensar-se na transmissão contínua e armazenamento dos dados.

Um dos principais requisitos do projeto é que o equipamento seja confiável, de baixo custo e discreto para não despertar ações de furto ou vandalismo. Na Tabela 3 é feita uma aproximação do preço total do sistema de alerta.

Tabela 3 Custos do equipamento desenvolvido

Equipamento	Preço (Reais)
Microcontrolador Arduino Mega	100,00
Sensor ultrassônico	40,00
Display LCD	25,00
Shield Ethernet	60,00
Shield relógio	17,00
Memoria externa (4 GB)	12,00
Fonte de alimentação 9 V	20,00
Total	274,00

Fonte: Elaborada pelo autor

O custo total aproximado do equipamento desenvolvido com o sensor ultrassônico foi de R\$ 274,00, o que equivale a US\$ 66,90, com a cotação do dólar em (11/01/2020), sem considerar a mão-de-obra envolvida na montagem. Deve-se providenciar a proteção intelectual do produto (patente).

A plataforma de coleta de dados usada na rede telemétrica do DAEE na bacia do rio Ribeira de Iguape é do modelo MAWS-55HOBECO-VAISALA da marca HOBECO com um preço aproximado de US\$ 26.000,00. Esse modelo (Figura 56) conta com antena para transmissão ao Satélite Goes, um painel solar para alimentação da bateria, uma bateria de 12V/18Ah, um controlador de carga, um *data logger*, um pluviômetro e um sensor de pressão ou um sensor de nível ultrassônico (informação pessoal).

O marégrafo instalado na Base Sul do IOUSP atualmente conta com um data logger CR1000 da marca Campbell, sensores de temperatura e umidade, sensores radar e ultrassônico de nível, interface ethernet e baterias recarregáveis que mais o software do sistema soma um preço de US\$ 13.060,00 (informação pessoal).

Atualmente, o Instituto Oceanográfico se encontra atualizando os equipamentos de medição na Base de Cananéia, e por isso foi adquirido um modelo novo da mesma marca Campbell com um preço de US\$ 6.046,00, que conta com sensores de pressão barométrica, monitor de vento e balde pluviômetro basculante (informação pessoal).

Claramente, esses equipamentos são muito mais completos e precisos, com muito mais sensores e elementos de medição, mas para cumprir com o propósito do projeto que é criar um equipamento de medição de nível, o equipamento obtido até agora é suficiente.

Figura 56. Estação telemétrica do DAEE (à esquerda) e, interior da estação, mostrando conexões e equipamentos (à direita).

Fonte: Foto (GÓMEZ, C, 2018)

Durante a primeira visita a cidade de Iguape, tivemos contato com moradores da cidade obtendo-se informação sobre a preocupação com a falta de sistema de alerta de enchentes e sobre o prejuízo que já causaram as cheias para as famílias que moram perto do leito do rio. Foi mencionado que existe uma mobilização por parte dos pescadores, os quais quase diariamente têm contato com o estuário e percebem a variação do nível pela influência da maré. Quando observam que o nível do rio começa a aumentar de maneira atípica com uma velocidade maior que a normal, eles comunicam o evento para o resto dos moradores em zonas de risco. Também contam com o apoio do DAEE que compartilha os dados com eles, porém não existe um sistema de alerta que anuncie com antecedência à população em geral. Durante a visita ao município de Registro, foi feito contato com a equipe responsável da Bacia do Ribeira de Iguape e Litoral Sul do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) que deu apoio e acesso aos dados das estações meteorológicas. Eles facilitaram a coleta perto do equipamento do departamento em Registro e proporcionaram algumas informações sobre os equipamentos da rede telemétrica da bacia.

Outro contato que facilitou o acesso aos dados foi feito pelo chefe da base do Instituto Oceanográfico em Cananéia, Sr. Leandro Martins, quem facilitou o acesso às instalações da base e proporcionou um apoio enorme para fazer provas e coletas no lugar.

Ao observar os resultados obtidos pode-se notar facilmente que os registros feitos pelo equipamento de medição são bastante aproximados aos dados registrados pelas estações hidrológicas das diferentes agências o que garante a confiabilidade nos mesmos.

Ainda existem muitos ajustes que podem melhorar o equipamento, por exemplo, na coleta do dia 30/03/18 foi quando mais se teve diferença entre as medições. É possível que seja algum tipo de interferência estivesse causando ruído no sensor ultrassônico, mas não se soube o que provocou isto, porém houve melhora sucessiva nos registros.

Na parte técnica ainda tem bastante possibilidade de melhoria, mas a base do equipamento está pronta e os resultados são satisfatórios. No dia 31 de março, foi um dia onde podia se ver uma turbulência forte no leito do rio, no começo da coleta foi observado que os dados estiveram variando muito, porém depois de alguns minutos os valores estabilizaram.

Outra vantagem da simplicidade do equipamento é a facilidade de transporte, montagem e conserto, diferentemente das estações de medição mais complexas que precisam de investimentos muito maiores para aquisição e manutenção.

Os testes feitos com o protótipo do equipamento de medição de nível da água no município de Registro e no estuário de Cananéia foram cruciais para o projeto, pois agora os resultados demonstraram que o equipamento está apto a integrar um sistema de alerta de enchentes e pode ser um sinalizador de eventos hidrológicos extremos, já que foi verificado que o sistema funciona e pode ser usado tanto para medir o aumento do nível em rios, como para sinalizar a variação do nível da maré nas zonas costeiras.

5.2 Técnico e Ambiental

As observações de variação nível de água em Cananéia são influenciadas pelo regime maré, e no período de observação a maré foi de sizígia. Os períodos analisados corresponderam a inverno e a temperatura da água esteve entorno dos 20 °C (julho e agosto), como foi observado por Agostinho (2015) em amostragem espacial no sistema em agosto de 2012, com temperaturas em torno de 21 graus. Braga (1995), fez uma coleta em estação fixa, observando variação temporal, no mesmo local de estudo, com amostragem de 21 h (das 9h às 6h), em maré de quadratura no dia 7 de agosto de 1992, onde a temperatura média observada no dia foi de 18,18 °C com um erro médio de $\pm 0,27$. Nesta época o Valo Grande estava fechado.

A salinidade no período observado esteve sempre menor que 30, indicando a dominância de água salobra no sistema, sendo que os menores valores foram observados em maré baixa, onde o domínio da água doce é mais evidente. Em agosto de 1992 a média foi em torno de 29,40 com um erro médio de $\pm 0,95$ para observação também de série temporal de variação (BRAGA, 1995).

Mesmo com as variações do nível da água, os valores de pH sempre foram em torno de 8, o que corresponde à presença de água com salinidade acima de 20. Agostinho (2015) também encontrou valores acima de 8 em variação espacial no sistema.

Todos os valores de oxigênio estiveram acima de 5,0 ml L⁻¹ indicando a boa oxigenação, com exceção do dia 22 de agosto às 16h30, onde o valor foi de 4,5 ml L⁻¹, o que não indica uma situação de hipóxia. Por outro lado, Agostinho (2015) observou valores de oxigênio ligeiramente menores do que 5,0 ml L⁻¹. A média em agosto de 1992 de Braga (1995) há mais de 25 anos atrás foi de 6,0 ±0,16 ml L⁻¹.

O material particulado em suspensão normalmente no período de seca é baixo, variando desde 29,86 mg L⁻¹ a 78,95 mg L⁻¹, correspondendo a uma faixa similar ao encontrado por Agostinho (2015) em agosto de 2012, que variou de 33,80 mg L⁻¹ a 82,75 mg L⁻¹. O valor médio do inverno de 1992 foi de 30,7±4,8 mg L⁻¹ (BRAGA, 1995).

O material orgânico particulado em suspensão num período de baixa produtividade variou de 4,29 mg L⁻¹ a 13,72 mg L⁻¹, enquanto Agostinho (2015) encontrou valores entre 9,20 mg L⁻¹ e 17,25 mg L⁻¹ também correspondendo ao período de inverno.

Os valores de silicato no período observado variaram de 9,78 µmol L⁻¹ a 46,74 µmol L⁻¹, sendo que os menores valores estiveram associados a maré alta e os maiores a maré baixa, mostrando a origem terrestre desse elemento. O valor médio de silicato de Braga (1995), em série temporal, em agosto de 1992 foi de 9,3 ±3,3 µmol L⁻¹.

O fosfato dissolvido variou de 0,58 µmol L⁻¹ a 1,33 µmol L⁻¹ no período de estudo, faixa de valor que mostra disponibilidade para a produção primária ser mantida na primavera. Agostinho (2015) observou um estoque maior neste período entre 1,31 µmol L⁻¹ e 2,06 µmol L⁻¹. Por sua vez, Braga (1995) achou valores médios de fosfato de 0,33 ±0,10 µmol L⁻¹.

Os componentes nitrogenados mostraram valores diferenciados entre suas formas. Os valores de N-amoniaco variaram de <0,02 µmol L⁻¹ a 4,85 µmol L⁻¹, indicando um período de degradação de matéria orgânica como é no caso do inverno. O autor referenciado encontrou valores entre 3,20 µmol L⁻¹ e 4,40 µmol L⁻¹ em agosto 2012. Os valores de nitrito foram baixos variando entre 0,13 µmol L⁻¹ e 0,61 µmol L⁻¹, enquanto Agostinho (2015) encontrou valores mais baixos entre 0,13 µmol L⁻¹ e 0,27 µmol L⁻¹ em distribuição espacial. Esta forma intermediária de nitrogênio deve se manter baixa em ambientes saudáveis, os valores observados neste estudo não são preocupantes. No inverno de 1991 o valor médio do N-amoniaco foi de 0,56 µmol L⁻¹ (±0,14) e de 0,20 µmol L⁻¹ (±0,13) de nitrito (BRAGA, 1995).

No caso do nitrato que é uma forma mais estável do nitrogênio, observou-se uma variação entre $1,47 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $3,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ na amostragem de julho onde a disponibilidade é maior e o consumo pelos produtores primários é menor, enquanto que na amostragem de agosto a disponibilidade baixou variando de $0,39 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $0,81 \mu\text{mol L}^{-1}$. Em agosto de 2012, a variação encontrada por Agostinho (2015) foi de $0,46 \mu\text{mol L}^{-1}$ a $4,29 \mu\text{mol L}^{-1}$. E os valores médios encontrados por Braga (1995) em série temporal foram de $0,50 \pm 0,25 \mu\text{mol L}^{-1}$, no inverno de 1992.

Em suma, temos o menor nível de maré acompanhado do menor valor de salinidade, diminuição do valor de OD e diminuição do valor de pH, enquanto o maior valor de salinidade ocorreu a noite (22h) sendo acompanhado da diminuição do OD e também do pH.

Observando o comportamento das componentes ambientais em relação a variação do nível da água (sob influência das forçantes de maré), de um modo geral mostram um acompanhamento harmônico, porém mostrando alguns efeitos diferenciados em tona das 11h em processo de maré vazante. Valores de maré alta foram diferenciados no início e no final do dia (dia 05/07). Assim, além da diferença entre o nível da água durante a observação diuturna, os valores dos demais parâmetros ambientais mostram outros processos que podem estar atuando no sistema, provocando diferenças nas respostas, como ventos e correntes de ressuspensão e entradas maiores ou menores de material particulado em suspensão.

De certa forma, em maré baixa, os valores de nutrientes tendem a aumentar, e com a elevação do nível e maior influência marinha os valores tendem a diminuir, sendo que a influência de ressuspensão, provocadas por correntes, ventos e outros fenômenos podem ser evidenciados pelas anomalias reveladas nos modelos no padrão de distribuição, o que pode contribuir à previsão de eventos anormais ou mesmo extremos com o acompanhamento de variáveis ambientais associadas à alteração do nível do mar.

6. CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido está apto para realizar medições em diferentes regiões, com diferentes circunstâncias, e com diferentes objetivos. É um equipamento adaptável à necessidade da comunidade. Ele pode ser mais complexo adicionando-se outros sensores como sensor de temperatura, pressão, umidade, velocidade do vento, etc., e ser transformado em uma estação meteorológica, como também pode ser adicionado um painel solar junto com uma bateria para ser instalado em lugares remotos onde não se tenha acesso a energia elétrica.

O projeto do sistema de alerta pode ser de muita ajuda para comunidades pequenas onde estejam precisando de ajuda urgente e não contam com um orçamento grande ou não contam com a ajuda do estado para instalar uma estação hidrológica. Assim, podem ser criadas parcerias com outras agências e órgãos interessados em fazer um tipo de teste com o equipamento antes de investir grandes quantidades de tempo e dinheiro.

Os testes realizados na zona costeira junto aos estuários e em medidas de rio se mostrou eficiente de modo que o registro de séries temporais foi realizado com sucesso, mostrando a capacidade de registro contínuo. As medidas registradas foram comparadas com dados de fontes fidedignas e com modelos de previsão de maré, mostrando segurança para o uso no registro de medidas de variação de nível, estando pronto para receber implementação com outros sensores para avaliação ambiental como sensores de temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e até mesmo de nutrientes tornando a base para o desenvolvimento de uma estação de coleta de dados ambientais.

O equipamento além de apresentar bons resultados e possuir baixo custo para confecção e instalação, é discreto, sendo menos exposto ao vandalismo, permanecendo útil na composição de uma rede de informações hidrológicas.

A associação de outras medidas ambientais acompanhando os registros de variação do nível da água podem auxiliar na identificação de outros sinais que podem estar indicando mudanças naturais ou antrópicas e que possam estar a caminho da região, dando mais tempo para que as medidas de alerta sejam acionadas. Os valores de salinidade, pH acompanharam bem as variações de nível de água mostrando o movimento da maré no sistema estuarino, o que foi refletido nos resultados de nutrientes no caso do silicato com maior expressão. Foram

notadas anomalias que puderam evidenciar outros processos como ressuspensão do fundo e variação no vento, deste modo outras variáveis ambientais são importantes para o acompanhamento de mudanças no ambiente.

A carência de sistemas de alerta de custo para inundações e aumento do nível do mar evidente num país tão grande e diante de mudanças globais que vem mexendo com o regime de chuva, de modo que as propostas que possam contribuir com a formação de redes de alerta são necessárias, e este estudo vem dar sua contribuição para a implementação deste tipo de sistemas de monitoramento que podem salvar vidas e contribuir ao crescimento socioeconômico.

REFERENCIAS⁹

AGOSTINHO, K. L. **Estudo do Nitrogênio e do Fósforo (N e P) no setor norte do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananeia-Iguape (SP) considerando as condições naturais do sistema e a influência dos aportes antrópicos.** 107 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química) - Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin.** CNEXO. Brest, 1983. 395p.

ARDUINO (s/d) Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 23 jul. 2017.

BAMBER, J. L., OPPENHEIMER, M., KOPP, R. E., ASPINALL, W. P. & COOKE, R. M. **Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment.** Proc. Natl Acad. Sci. USA, 2019.

BARCELLOS, R. L. **Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino- Lagunar de Cananéia-Iguape (SP).** Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2 vols. 2005.

BÉRGAMO, A. L. **Características de hidrografia, circulação e transporte de sal: Barra de Cananéia, sul do Mar de Cananéia e Baía de Trapandé.** Dissertação de Mestrado. São Paulo. IOUSP. 210p. 2000.

BESNARD, W. **Considerações gerais em torno da região lagunar de Cananéia- Iguape I.** Bolm Inst. paul. Oceanogr., São Paulo, 1 (1):9-26. 1950.

BEU, S. E. **Análise socioambiental do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape e Ilha Comprida (SP): subsídios para o planejamento ambiental da região.** 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Ciência Ambiental, University of São Paulo, São Paulo, 2008. Acesso em: 09 out. 2019.

BRAGA, E. S. **Nutrientes dissolvidos e produção primária do fitoplâncton em dois sistemas costeiros do estado de São Paulo.** 2v. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CAHOON, D.; GUNTENSPERGEN, G. **Climate change, sea-level rise, and coastal wetlands.** National Wetlands Newsletter, 2010. 32. 8-12.

⁹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

CIIAGRO - CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. Comitê de Bacias Hidrográficas do Ribeira do Iguape Litoral Sul do CIIAGRO (Disponível em: < <http://www.ciiagro.org.br/ribeira/climatico/executar> > Acesso em: 26 set. 2019).> Acesso em: 26 set. 2019).

DAEE (s/d) Dados da estação do DAEE. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf >. Acesso em: set. 2017.

ESCHRIQUE, S. A.; COELHO, L. H.; OLIVEIRA, E. N.; BRAGA, E. S. **Qualidade da água como ferramenta na gestão ambiental de estuários – exemplo do litoral sul de São Paulo**. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 5, Anais, Santos, 2011, p. 30.

FILIPEFLOP (s/d) Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/>>. Acesso em: maio 2018.

FURTADO, J. S.; YAMANAKA, N.; OLIVEIRA, M. C. **Percepção ambiental e quadro referencial do complexo “Valo Grande e Sistema Lagunar Cananéia-Iguape”**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1981. Disponível em: <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/sumula.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2019.

GEOBRÁS. **Complexo do Valo Grande- Mar Pequeno- Rio Ribeira do Iguape**. Relatório para o serviço do Vale do Ribeira-DAEE, São Paulo, 1966. 2 vols.

GOOGLE MAPS. 2019. Disponível em: <<http://maps.google.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2018)

GRASSHOFF, K. Determination of oxygen. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. **Methods of Seawater Analysis**, 1983. 2nd ed. Weinheim: Verlag Chemie, 419 p.

HEROKU (s/d) Disponível em: <<http://www.heroku.com/>> Acesso em: abr. 2018.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS E RENOVÁVEIS. Informações sobre a APA-CIP. Disponível em: <www.ibama.gov.br>. Acesso em: 09 out. 2019.

ICMBio - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE (2016). Plano de Manejo: Área de proteção ambiental Cananéia- Iguape- Peruíbe, SP. Iguape, fevereiro 2016. p 60-61.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Rede de estações do INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf> Acesso em: 25 set. 2019.

IOUSP – INSTITUTO OCEANOGRÁFICO da UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (s/d)
Disponível em: <<http://www.io.usp.br/>>. Acesso em ago. 2017.

_____. LABDADOS (s/d) Disponível em: <<http://www.labdados.io.usp.br/>>. Acesso em ago. 2018.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. CLIMATE CHANGE 2013 - The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, C.B. Field et al., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 2013. p. 78. Disponível em: <http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf>. Acesso em 07 out 2018.

_____. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 pp. Disponível em: <<https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>, Acesso em: 07 out. 2018.

_____. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018. 32 pp.

MATOLA, M. ONU News. **ONU lança Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável.** New York, 06 dec. 2017. Disponível em: <<https://news.un.org>> Acesso em: 09 out. 2019.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Portaria MMA N° 09, de 23 de janeiro de 2007., p. 101

POSTHUMUS et al. **Impacts of the summer 2007 floods on agriculture in England.** Journal of Flood Risk Management, 2009. 2. 182 - 189.

SANTANA, C. L. **Geomorfologia da planície fluvial do Rio Ribeira de Iguape entre Sete Barras e Eldorado (SP): Subsídios ao planejamento fisicoterritorial de áreas inundáveis.** 297 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008 (Fotocópia)

SNIRH – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. (s/d) Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA. Mapa das estações. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf>. Acesso em: 22 set. 2019.

_____. (s/d) Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf> Acesso em: 4 set. 2018.

SOUZA, T.; OLIVEIRA, R. **Alterações Ambientais No Complexo Estuarino-Lagunar De Cananeia-Iguape: A Influência Do Canal Artificial Do “Valo Grande”**. Boletim de Geografia, 2017. 34. 30. 10.4025/bolgeogr.v34i3.23474.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analyses**. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1968. 311p. (Bulletin: Fisheries Research Board of Canada, n167).

TELEGINSKI, A. **Aspectos históricos e fundiários do Vale do Ribeira e sua influência no desenvolvimento econômico da região**. In: Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira III Serra Negra, 1982. v.1, p. 104-106.

UNESCO – *UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION*. *World Network of Biosphere Reserves*, 2005. 19 p.

UNISDR- THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION; CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS - The Human Cost of Weather Related Disasters (1995 – 2015), 2015, p. 6, 11, 13

WEBB, Edward L.; FRIESS, Daniel A.; KRAUSS, Ken W.; Cahoon, Donald R.; Guntenspergen, Glenn R.; Phelps, Jacob. **A global standard for monitoring coastal wetland vulnerability to accelerated sea-level rise**. In: *Nature Climate Change*, 2013. Vol. 3, No. 5. pp. 458-465.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Ficha técnica do sensor ultrassônico JSN-SR04T.

Waterproof Ultrasonic Distance Measuring Transducer Module Model: JSN-SR04T

Features:

- Small size, easy to use
- Low voltage, low power consumption
- High accuracy
- Strong anti-jamming
- Integrated with waterproof probe ended wire, suitable for wet, harsh measure occasions

Electrical Parameters:

1. Operating voltage: DC 5V
2. Quiescent current: 5mA
3. Total current work: 30mA
4. Acoustic emission frequency: 40 KHz
5. Farthest distance: 4.5m
6. Blind: 25cm
7. Wiring: + 5V (positive power supply)
Trig (control side) RX
Echo (the receiver) TX
GND (negative)
8. Resolution: about 0.5cm
9. Angle: less than 50 degree
10. Working temperature: -10°C ~ 70°C
11. Storage temperature: -20°C ~ 80°C

Applications:

1. Horizontal distance;
2. Obstacle avoidance, automatic control;
4. Traffic control;
5. Security, industrial control;
6. Artificial intelligence and research

Made in China

www.ekt2.com

Fonte: Electronics Katangui Trading (Disponível em: <www.ekt2.com>. Acesso em: 12 ago. 2018)

APÊNDICE B - Dados medidos pelo sensor e comparados com a estação do DAEE em Iguape no dia 30/03/18.

Hora	Sensor (cm)	DAEE (cm)
14:20	-	287
14:27	293	-
14:30	-	289
14:40	-	292
14:47	298	-
14:50	-	294
15:00	-	297
15:07	304	-
15:10	-	299
15:20	-	301
15:27	311	-
15:30	-	302
15:40	-	303
15:47	316	-
15:50	-	303
16:00	-	305
16:07	318	-
16:10	-	304
16:20	-	303
16:27	319	-
16:30	-	303
16:40	-	303
16:47	317	-
16:50	-	302
17:00	-	302
17:07	315	-
17:10	-	300
17:20	-	299
17:27	313	-
17:30	-	298
17:40	-	296

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados do DAEE (DAEE, 2017).

APÊNDICE C - Dados medidos pelo sensor e dados obtidos pela estação do DAEE em Iguape no dia 31/03/18.

Hora	Sensor (cm)	DAEE (cm)
10:40	-	254
10:46	249	-
10:50	-	254
11:00	-	253
11:06	247	-
11:10	-	253
11:20	-	253
11:28	246	-
11:30	-	253
11:40	-	253
11:48	248	-
11:50	-	254
12:00	-	255
12:08	250	-
12:10	-	256
12:20	-	256
12:28	256	-
12:30	-	258
12:40	-	259
12:48	256	-
12:50	-	261
13:00	-	262
13:08	261	-
13:10	-	264
13:20	-	266
13:28	266	-
13:30	-	268
13:40	-	271
13:48	275	-
13:50	-	274
14:00	-	277
14:08	281	-
14:10	-	279

Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados do DAEE (DAEE, 2017).

APÊNDICE D - Dados medidos pelo sensor e dados obtidos pela estação do DAEE em Iguape no dia 25/04/2018.

Hora	Sensor (cm)	DAEE (cm)
10:30	-	231
10:34	233	-
10:45	-	237
10:49	237	-
11:00	-	241
11:08	244	-
11:15	-	248
11:25	248	-
11:30	-	252
11:42	254	-
11:45	-	259
11:54	259	-
12:00	-	262
12:08	263	-
12:15	-	267
12:23	272	-
12:30	-	271
12:37	275	-
12:45	-	273

Fonte: Fonte: Elaborada pelo próprio autor com dados do DAEE (DAEE, 2017).

APÊNDICE E - Dados medidos pelo sensor em Registro, SP no dia 24/04/18.

Hora	Sensor (cm)
10:42	24.0
10:59	24.5
11:19	23.9
11:39	23.4
11:59	27.7
12:19	23.4
12:39	23.3

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

APÊNDICE F - Dados de altura da maré (cm) segundo modelo de previsão de maré do IOUSP para 23/08/2017.

Hora	Maré (cm)
3:54	140
9:08	20
16:56	150
21:24	30

Fonte: (IOUSP, 2018).

APÊNDICE G - Dados medidos pelo sensor em Cananéia no dia 23/08/2017.

Hora	Sensor (cm)
9:46	21
10:06	21
10:26	21
10:44	24
11:04	21
11:24	19
11:44	29
12:04	32
12:24	34
12:44	39
13:04	50
13:24	54
13:44	61
14:04	72
14:24	80
14:44	94
15:04	106
15:24	116
15:44	129
16:04	137
16:24	141
16:44	150
17:04	153
17:24	145
17:44	138
18:04	130
18:24	122
18:44	109
19:04	95
19:24	86
19:44	74
20:04	62
20:24	49

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.