



**Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB**  
**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA**

Ricardo Almeida Cunha

**POLYPUS: SONDA DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE PARÂMETROS  
FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Orientador: Prof. Dr. Marcus Luciano Souza de Ferreira  
Bandeira

PORTO SEGURO - BA

MARÇO – 2019

Ricardo Almeida Cunha

**POLYPUS: SONDA DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE  
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Sul da Bahia e Instituto Federal da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Luciano Souza de  
Ferreira Bandeira

PORTO SEGURO - BA

MARÇO – 2019

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)  
Universidade Federal do Sul da Bahia – Sistema de Bibliotecas

C972p Cunha, Ricardo Almeida  
Polypus: sonda de baixo custo para análise de parâmetros físico-químicos em águas superficiais. / Ricardo Almeida Cunha. – Porto Seguro, 2019.  
87 p.

Orientador: Marcus Luciano Souza de Ferreira Bandeira  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia.  
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais.

1. GSM. 2. Águas Superficiais. 3. Arduino. 4. Sonda Multiparâmetros. I. Bandeira, Marcus Luciano Souza de Ferreira. II. Título.

CDD: 541.3

Universidade Federal do Sul da Bahia  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais  
Centro de Formação em Ciências Ambientais

**Ata da Defesa Pública de Dissertação de Mestrado**

Aos 17 dias do mês de abril do ano de 2019, às 08:30 horas na sala Taperapuã 2, UFSB - Campus Porto Seguro, reuniram-se os membros da banca examinadora composta pelos professores: Marcus Luciano Souza de Ferreira Bandeira (orientador e presidente da banca), Allison Gonçalves Silva (membro interno), Sebastião Pinheiro Gonçalves de Cerqueira Neto (membro interno) e Luiz Cláudio Machado dos Santos (membro externo), a fim de argüirem o mestrando **Ricardo Almeida Cunha** cujo trabalho intitula-se "Polypus: sonda de baixo custo para análise de parâmetros físico-químicos em águas superficiais". Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionada pelos membros da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Os membros da banca consideraram o trabalho de dissertação:

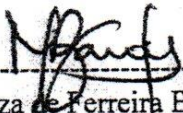
aprovado

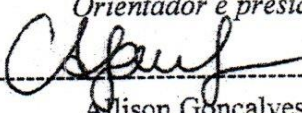
aprovado com profundas modificações

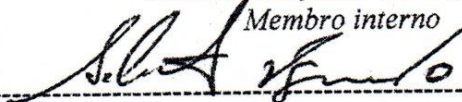
não aprovado, devendo ser realizada nova qualificação no prazo de \_\_\_ meses.

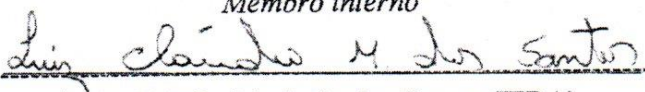
**Recomendações da Banca:**

**Banca Examinadora:**

  
-----  
Marcus Luciano Souza de Ferreira Bandeira (IFBA)  
*Orientador e presidente da banca*

  
-----  
Allison Gonçalves Silva (IFBA)  
*Membro interno*

  
-----  
Sebastião Pinheiro Gonçalves de Cerqueira Neto (IFBA)  
*Membro interno*

  
-----  
Luiz Cláudio Machado dos Santos (IFBA)  
*Membro externo*

**Candidato:**

  
-----  
Ricardo Almeida Cunha

**CONFERE COM  
O ORIGINAL**

  
Fabio Isaac Machado de Faria  
Matricula SIAPE: 1170613  
Assistente em Administração  
UFSB - CAMPUS SOSIGENES COSTA

Dedico este trabalho a  
todos aqueles que  
contribuíram com sua  
realização de forma direta  
ou indireta.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida, pelo Seu zelo, por Seu amor, pela Sua presença e pela capacidade a mim confiada, te honrarei durante meu tempo aqui na terra, Seu amor me transformou;

Agradeço a minha esposa, Cecília, por estar ao meu lado em todos os momentos em que fui desafiado, sempre me dando o suporte necessário, a você meu amor; Aos meus filhos, Felipe e Romeo, razão de tudo, amor incondicional maior que eu;

Agradeço aos meus pais, Sr. João e Sra. Áurea, pelo amor e carinho em mim depositado ao longo da vida; Aos meus irmãos Eduardo e João Jr, a quem admiro com profundidade; A minha sogra (Áurea), ao meu sogro (Panreginaldo, *in memoriam*), as minhas cunhadas (Taisa, Claudine e Marília), a minha avó (Hildete, *in memoriam*), doce de pessoa, família fundamental a todo homem;

Agradeço ao professor Marcus Luciano Bandeira, meu orientador, que construiu junto comigo o desejo dessa pesquisa;

Agradeço aos professores Luciano Lima, Allison Gonçalves, Paulo Paixão, Diogo Novais, Sebastião Cerqueira, Esaú Sena que ao serem provocados trouxeram luz as inquietações da pesquisa;

Agradeço ao técnico de laboratório em química, Leonardo Dias, que foi fundamental nas atividades laboratoriais de análise das amostras;

Agradeço aos demais professores por me capacitar para tamanho desafio, meu muito obrigado;

Agradeço aos colegas de turma que sempre nos momentos certos se uniam para dar suporte uns aos outros, fortalecendo a todos;

Agradeço aos amigos, e não os cito para evitar injustiças, que me ajudaram nos momentos mais necessários da pesquisa;

“Eu sou o que me cerca. Se eu não preservar o que me cerca, eu não me preservo.”

José Ortega y Gasset

## Sumário

<b>Sumário</b> .....	8
RESUMO.....	10
ABSTRACT .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE FIGURAS .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	15
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	18
1.1. As águas superficiais e sua importância.....	18
1.2. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) .....	19
1.3. Parâmetros Físico-Químicos.....	20
1.3.1. Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	20
1.3.2. Sólidos Totais Dissolvidos ou Total Dissolved Solids (TDS).....	21
1.3.3. Eletro Condutividade (EC) .....	21
1.3.4. Salinidade.....	21
1.3.5. Oxigênio Dissolvido (OD).....	22
1.3.6. Temperatura .....	22
1.4. Regionalização da pesquisa .....	23
1.4.1. Porto Seguro.....	23
1.4.2. Rio Buranhém .....	24
1.4.3. Rio Mundaí .....	24
1.5. Tecnologias e suas aplicações na Gestão Ambiental .....	25
1.5.1. Automação por unidades microprocessadas .....	25
1.5.2. Microcontrolador .....	26
1.5.3. Sensores .....	27
1.5.4. Transmissão de Dados GSM/SMS.....	28
1.5.5. Armazenamento de dados .....	28
1.5.6. Alimentação de energia.....	28
1.6. Trabalhos Relacionados.....	29
1.7. Prospecção Tecnológica.....	31
3. OBJETIVOS.....	36
2.1. Objetivo Geral .....	36
2.2. Objetivos Específicos .....	36
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.1. Etapas da pesquisa.....	37
3.2. Local de pesquisa.....	38



3.3.	Unidade Microcontroladora e Sensores Ambientais .....	40
3.3.1.	Arduino .....	40
3.3.2.	Sensores Dfrobot.....	42
3.3.3.	DS18B20 – Sensor de Temperatura .....	43
3.3.4.	SEN0244 – Sólidos Totais Dissolvidos .....	44
3.3.5.	SEN0237-A – Oxigênio Dissolvido.....	46
3.3.6.	SEN0161 – pH.....	47
3.4.	Dispositivos Acessórios .....	49
3.4.1.	Sensor Shield Mega .....	49
3.4.2.	Módulo cartão micro-SD .....	50
3.4.3.	Módulo GSM SIM800L.....	51
3.4.4.	Alimentação de Energia .....	52
3.4.5.	Display de Cristal Líquido .....	52
5.	RESULTADOS.....	54
4.1.	Prototipação da Sonda Multiparâmetro .....	54
4.2.	Desenvolvimento de Software.....	61
5.	DISCUSSÃO.....	66
5.1.	O Experimento.....	66
5.2.	Dados obtidos .....	67
5.2.1.	Validação de Curta Duração.....	68
5.2.2.	Validação de Longa Duração .....	71
5.2.3.	Validação com inserção de agentes químicos: pH .....	75
5.3.	Demais funcionalidades da sonda desenvolvida .....	78
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	80
7.	REFERÊNCIAS .....	82

Polypus: Sonda de baixo custo para análise de parâmetros físico-químicos em águas superficiais.

## RESUMO

A baixa disponibilidade no mercado de sondas multiparâmetros de baixo custo que permitam a coleta de dados e acesso a seus resultados em tempo real remotamente, levou ao desenvolvimento desta pesquisa. Este trabalho apresentou uma contribuição na criação e implementação de um sistema integrado (*hardware e software*), intitulado de *Polypus*, que se baseia na análise de águas superficiais através do uso de sensores de temperatura, pH, salinidade, eletro condutividade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos em plataforma microcontroladora, visando sua aplicação em um sistema hídrico para avaliação dos resultados em suas variações temporais e espaciais. Para atender a proposta primeiramente foi criado um protótipo de um sistema integrado dotado de sensores fabricados pela empresa Dfrobot em plataforma Arduino Mega. E por fim desenvolvido um programa para controle do sistema integrado bem como armazenamento/transmissão dos dados coletados. A pesquisa foi realizada em laboratório e as amostras das águas avaliadas provenientes da foz do rio Buranhém, do rio Mundaí e da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). O Protótipo conta ainda em sua estrutura com módulo de transmissão de dados GSM SIM800L, módulo de armazenamento micro-SD, alimentação de duas baterias externas, um módulo sensor shield e visor LCD. Os dados foram obtidos a partir do protótipo Polypus e da sonda multiparâmetro Hanna HI 9828. Por meio de análises de curta e longa duração os resultados foram confrontados e através de gráficos de correlação pôde-se verificar um comportamento análogo dos dispositivos, demonstrando que não houve diferenças significativas nos resultados. O custo obtido do protótipo foi de aproximadamente R\$ 1.500,00 versus o custo de uma sonda multiparâmetro que é de aproximadamente R\$ 10.500,00. Os resultados apresentados até o momento mostraram a confiabilidade no uso do protótipo desenvolvido a baixo custo nos projetos de análise ambiental.

**Palavras-chave: GSM, Águas Superficiais, Arduino, Sonda Multiparâmetro**

Polypus: Low-cost probe for analysis of physico-chemical parameters in surface waters.

### **ABSTRACT**

The low availability in the market of low cost multiparameter probes that allow the data collection and access to its results in real time remotely, led to the development of this research. This work presented a contribution in the creation and implementation of an integrated system (hardware and software), called Polypus, which is based on the analysis of surface water through the use of temperature, pH, salinity, electroconductivity, dissolved oxygen and solid total dissolved in microcontroller platform, aiming its application in a water system to evaluate the results in its temporal and spatial variations. To meet the proposal, a prototype of an integrated system with sensors manufactured by the company Dfrobot in Arduino Mega platform was created. And finally developed a program to control the integrated system as well as storage / transmission of collected data. The research was carried out in the laboratory and samples of the evaluated waters from the mouth of the Buranhém River, the Mundaí River and the Bahia Waters and Sanitation Company (EMBASA). The Prototype also has a SIM800L GSM data transmission module, a micro-SD storage module, two external batteries, a shield sensor module and a LCD display. The data were obtained from the Polypus prototype and the Hanna HI 9828 multi-parameter probe. Short and long-term analyzes were performed and correlation graphs were used to show an analog behavior of the devices, demonstrating that there was no significant differences in results. The cost of the prototype was approximately R\$ 1,500.00 versus the cost of a multiparameter probe that is approximately R\$ 10,500.00. The results presented so far showed the reliability in the use of the prototype developed at low cost in the projects of environmental analysis.

**Keywords: GSM, Surface Water, Arduino, MultiparameterProbe**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consulta a base do INPI e Google Patents em 13/02/19 .....	32
Tabela 2 - Resultados por palavras chaves pesquisadas na base do INPI .....	33
Tabela 3 - Especificações do Sensor de Temperatura DS18B20 .....	43
Tabela 4 - Especificações do Sensor de Temperatura SEN0244 .....	45
Tabela 5- Especificações do Sensor de Temperatura SEN0237-A .....	46
Tabela 6 - Especificações do Sensor de Temperatura SEN0161 .....	48
Tabela 7 - Precisão dos sensores pelos fabricantes.....	68
Tabela 8 - Dados obtidos em amostra da Embasa com mínimo e máximo da faixa de precisão .....	68
Tabela 9 - Dados obtidos em amostra do Rio Mundaí com mínimo e máximo da faixa de precisão.....	69
Tabela 10 - Dados obtidos em amostra do rio Mundaí.....	71
Tabela 11 - Média dos dados obtidos em amostra do rio Mundaí. ....	73
Tabela 12 - Dados de pH em amostra da Embasa com inserção de Hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.....	75
Tabela 13 - Coeficiente de correlação entre as sondas .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Extremo Sul da Bahia .....	23
Figura 2 - Rio Buranhém, Porto Seguro - BA .....	24
Figura 3 - Rio Mundaí, Porto Seguro - BA .....	25
Figura 4 - Arquitetura de um microcontrolador.....	26
Figura 5 - Gráfico da quantidade de depósitos no INPI por país solicitante. ....	34
Figura 6 - IFBA Campus Porto Seguro, Bahia, Brasil.....	39
Figura 7 - Localização da coleta de amostras de águas do rio Buranhém.....	39
Figura 8 - Rua de acesso ao rio Mundaí .....	40
Figura 9 - Ponto de coleta das amostras de águas do rio Mundaí .....	40
Figura 10 - Comparação dos principais Arduinos disponíveis no mercado. ....	41
Figura 11 - Arduino Mega2560 .....	42
Figura 12 - Sensor Waterproof - DS18B20 .....	43
Figura 13- Conexões do Sensor Waterproof - DS18B20.....	44
Figura 14 - Sensor Analógico TDS – SEN0244 .....	44
Figura 15 - Sensor Analógico TDS – SEN0244 .....	45
Figura 16 - Sensor de Oxigênio Dissolvido – SEN0237-A.....	46
Figura 17 - Sensor de Oxigênio Dissolvido – SEN0237-A.....	47
Figura 18 - Sensor de pH – SEN0161 .....	47
Figura 19 - Sensor de pH – SEN0161 .....	48
Figura 20 - Sensor Shield Mega .....	49
Figura 21 - Sensor Shied Mega acoplada ao Arduino Mega .....	49
Figura 22 - Módulo cartão micro-SD .....	50
Figura 23 - Módulo cartão micro-SD .....	50
Figura 24 - Módulo GSM SIM800L.....	51
Figura 25 - Módulo GSM SIM800L.....	51
Figura 26 - Bateria Externa .....	52
Figura 27 - Display LCD 16x2 I2C .....	53
Figura 28 - Esquema de ligação do display LCD 16x2 I2C .....	53
Figura 29 – Protótipo Polypus .....	54
Figura 30 - Destaque na Placa Sensor Shield Mega .....	55
Figura 31 - Portas utilizadas no projeto Polypus .....	55
Figura 32 - Interligação do módulo SD Card no sensor shield mega.....	56
Figura 33 - Interligação do visor LCD I2C no sensor shield mega.....	57

Figura 34 - Interligação do módulo SIM800L no sensor shield mega .....	57
Figura 35 - Interligação do sensor de temperatura no sensor shield mega.....	58
Figura 36 - Interligação do sensor de TDS no sensor shield mega .....	58
Figura 37 - Interligação do sensor de OD no sensor shield mega .....	59
Figura 38 - Interligação do sensor de ph no sensor shield mega.....	59
Figura 39 - Caixa Hermética Steck.....	60
Figura 40 - Botão liga desliga utilizado no protótipo.....	60
Figura 41 - Prensa Cabos.....	61
Figura 42 - Esquema de interligação da sonda Polypus .....	61
Figura 43 - Ambiente de Desenvolvimento do Arduino.....	62
Figura 44 - Conjunto de bibliotecas usadas no protótipo Polypus .....	63
Figura 45 - Início da rotina SETUP do código fonte do protótipo .....	64
Figura 46 - Início da rotina LOOP do código fonte do protótipo.....	64
Figura 47 - Diagrama de bloco do funcionamento da sonda Polypus .....	65
Figura 48 – Foto da análise comparativa de amostra entre sondas em laboratório .....	67
Figura 49 – Gráficos das validações de curta duração com limite de precisão definido pelo Fabricante .....	70
Figura 50 – Gráficos das Validações de longa duração - Amostra Rio Mundaí.....	72
Figura 51 – Gráfico de Oxigênio Dissolvido e pH coletados em validação de.....	74
Figura 52 - Gráfico de Eletro Condutividade e Salinidade coletados em validação de .	74
Figura 53 - Gráfico de Temperatura e Sólidos Totais Dissolvidos coletados em validação de .....	75
Figura 54 – Gráfico com curva obtida por meio de sondas multiparâmetros em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.....	76
Figura 55 – Coeficiente de correlação entre as sondas Polypus e Hanna em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.....	77
Figura 56 - Coeficiente de correlação entre o phmetro QX1500 e sonda Polypus em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.....	77
Figura 57 - Coeficiente de correlação entre o phmetro QX1500 e sonda Hanna em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.....	78
Figura 58 - Recebimento dos dados coletados em dispositivo móvel.....	79
Figura 59 - Arquivo .txt do cartão micro-SD.....	79

## 1. INTRODUÇÃO

A Divisão Hidrográfica Nacional, estabelecida pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) através da Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, define 12 regiões hidrográficas para o país. O território baiano se encontra totalmente inserido em duas Regiões Hidrográficas Nacionais: a do Atlântico Leste e a do Rio São Francisco.

Devido à grande extensão territorial do Estado da Bahia e à complexidade de sua rede hidrográfica, composta por milhares de corpos hídricos, foram instituídas as Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs). As RPGAs são unidades de gestão das águas e sua divisão está regulamentada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) através da Resolução CONERH nº 43/09, que institui a Divisão Hidrográfica Estadual em RPGA, sendo 26 o total no estado. A divisão de número IV - Rio dos Frades, Buranhém e Santo Antônio, é constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Santo Antônio, João de Tiba, Frades, Caraíva, Queimado e outros pequenos rios existentes na costa, além do Rio Buranhém que possui parte do seu corpo hídrico no estado e deságua no Oceano Atlântico. Segundo Oliveira (2010) esta RPGA apresenta área de 961.139,51 ha e tem sua gestão estadual.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) através da Resolução nº 88/12 altera a Resolução nº 43/09 passando a Divisão Hidrográfica Estadual ser composta de 25 RPGAs. As alterações ocorreram nas RPGAs XXI e XXIII sendo na última incorporado as sub-bacias da Serra Dourada e Brejo Velho passando a ser denominada de Rio Corrente e Riacho do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho.

A concepção de água como um recurso natural abundante e muitas vezes infinito foi substituída pela compreensão da sua escassez e da essencial necessidade da água para manutenção da vida, sendo necessário o acompanhamento de quantidade e qualidade dos diversos corpos hídricos, para isso o monitoramento da qualidade da água se apresenta como principal instrumento de suporte a uma política efetiva de planejamento e gestão de recursos hídricos por meio de ações de controle ambiental, isto se deve ao fato da possibilidade de acompanhar o processo de uso dos corpos hídricos, demonstrando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas (GUEDES, 2012).

Dois fatores determinantes para a qualidade das águas são: A variabilidade natural das suas vazões uma vez que influencia nos processos físico-químicos, bem como, os usos antrópicos destinados ao recurso, aqueles que ocorrem com a intervenção humana. (PROCÓPIO et al., 2012).

Quanto mais o homem insere ou retira elementos dos corpos hídricos, mas está contribuindo para um desequilíbrio que precisa ser acompanhado, pois os recursos hídricos agem como integradores dos processos biogeoquímicos de qualquer região (DIAS MARTINI, 2012). Como forma de conceituação acerca do desequilíbrio ambiental, Sabino (2009) afirma que o ecossistema constrói ao longo do tempo seu equilíbrio com características topográficas, climáticas, pedológicas, botânicas, zoológicas, geológicas e geoquímicas invariáveis, e que modificações que levem a alteração de um único desses elementos podem causar o desequilíbrio de todo sistema.

Para Marconati Santi (2012) a identificação da qualidade da água é um fator muito importante, assim como entender a interferência da atividade humana, tendo em vista o papel importante da gestão dos recursos hídricos no que tange o seu gerenciamento, uso e conservação.

Dessa forma, corpos hídricos nas proximidades de cidades merecem especial atenção devido aos possíveis crimes de poluição existentes como lançamentos de águas residuais de forma clandestina acarretando, a degradação das águas, comprometendo os diversos usos a elas destinados (SANTOS, 2012).

Visando ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais do país a ANA (Agência Nacional de Águas) por meio do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA, responsável pelo monitoramento de quatro parâmetros básicos (pH, Oxigênio Dissolvido, condutividade e temperatura), orienta a elaboração de políticas públicas para a recuperação da qualidade ambiental em corpos hídricos como rios e reservatórios, contribuindo assim com a gestão sustentável dos recursos hídricos (ANA, 2019).

A pesquisa proposta fornecerá informações para a compreensão da situação atual da qualidade das águas de corpos hídricos analisada sob uma perspectiva acadêmica, amparada em referencial teórico mais amplo e crítico, uma vez que se dará com as análises dos resultados obtidos por meio de sensores em amostras coletadas e posterior disponibilização dos dados.

Para Milton Santos (2004), em sua obra *Pensando o espaço do homem*, múltiplas denominações podem ser aplicadas ao nosso tempo, sendo a mais expressiva a do período tecnológico que alterou as relações do homem com o meio, do homem com o homem, do homem com as coisas. Sendo um dos principais questionamentos de Milton Santos, como o desenvolvimento de tecnologias poderá contribuir com a sociedade.

As ameaças e problemas socioambientais já justificam a importância do referido estudo identificando e fornecendo informações que podem auxiliar no uso, controle e gerenciamento



dos recursos hídricos. Para além da análise socioambiental os sistemas de monitoramento eletrônicos de corpos hídricos apresentam-se comercialmente e, em sua grande maioria, com altos custos e dificuldades de aquisição de sensores sobressalentes.

Os avanços tecnológicos nos mais diversos segmentos do mercado foram acompanhados de avanços no campo de circuitos eletrônicos e das comunicações sem fio nos últimos anos. Eles abriram uma interessante linha de pesquisa com a possibilidade de criação de soluções eletrônicas de baixo custo e de baixo gasto de energia capazes de transportar dados (CAPELLA, 2010).

Nessa linha de pesquisa de equipamentos de baixo custo e com possibilidade de utilização remota no campo, por meio do uso de baterias e módulos de comunicação de dados, muitos pesquisadores iniciaram estudos no desenvolvimento de sensores que fossem capazes de coletar dados em tempo real dos mais diversos meios aos quais fossem inseridos.

Para Batista (2016) sensores são dispositivos eletrônicos capazes de converter um fenômeno físico, físico-químico em um sinal elétrico, ou seja, os sensores representam a interface entre o mundo natural (meio ambiente) e o mundo eletrônico (bit e bytes). O avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos na área de micro-processadores, materiais de sensoriamento, micro sistemas eletrônicos e transmissão sem fio têm contribuído para o desenvolvimento e uso de sensores em ambientes com indicadores físicos, químicos, biológicos, dentre outros (LOUREIRO, 2003). Estudos sobre redes de sensores sem fio é um campo bastante explorado pela área de instrumentação e medidas. Este campo emergente combina sensoriamento, computação e comunicação em um único e pequeno dispositivo (SILVA, 2013).

Para a pesquisa sensores de pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido, eletro condutividade e sólidos totais dissolvidos serão utilizados a fim de análise do corpo hídrico. Estes sensores estarão ligados, juntos em um único módulo, a um sistema integrado (hardware e software) dotado de um microcontrolador, o arduino. Segundo Banzi (2015) o arduino é uma plataforma de computação física de fonte aberta, o que permite o compartilhamento da tecnologia entre diversos interessados no assunto. Da família de microcontroladores, o Arduino Mega 2560 é uma plataforma de prototipagem eletrônica mais robusta que permite a programação das suas funcionalidades por uma linguagem de programação.

O Arduino pode ter sua funcionalidade estendida com a utilização de *shields*, que são placas de circuito que ao serem conectadas à parte superior do Arduino permitem novas funcionalidades como GPS, GSM, módulos de Ethernet e etc. (MCROBERTS, 2015).

Nesse estudo proposto o arduino fará a leitura e controle dos diversos sensores e demais *Shields* (módulos com funções adicionais ao Arduino) conectados a ele e após armazenamento em cartão micro-SD, enviará os resultados por meio da rede móvel de telefonia celular aos dispositivos definidos.

A escolha da plataforma Arduino para criação do sistema integrado dotado de sensores foi, após pesquisa bibliográfica, a que melhor demonstrou viabilidade técnica e econômica, levando em consideração que o kit Arduino é uma plataforma aberta, além de poder ser programado em uma linguagem derivada do C++ (OLIVEIRA, 2014).

De Oliveira (2016) afirma que a linguagem C++ foi desenvolvida por Bjarne Stroustrup em meados dos anos 80 e tratava-se de uma linguagem forte capaz de solucionar os mais complexos problemas por possuir um vasto leque de recursos. Sendo o C++ uma linguagem compilada e o sistema integrado Arduino dotado da capacidade de interpretação dessa linguagem, os programas que irão controlar os sensores a fim de coletar as informações necessárias no espaço de tempo desejado, bem como o programa que garanta o armazenamento dos dados coletados e transmissão dos mesmos, serão desenvolvidos em C++.

Na área de meio ambiente existem soluções para coleta de dados por meio de sondas multiparâmetros, todavia muito poucas foram as soluções encontradas com transmissão de dados, a maior parte das pesquisas apenas apresenta o armazenamento em cartão de memória. Normalmente esses sistemas são caros e utilizam hardware e softwares proprietários, fabricados por grandes empresas. O desafio está em produzir equipamentos em plataforma livre com recursos tecnológicos confiáveis e de última geração.

Pretende-se ao final da pesquisa apresentar um protótipo baseado em plataforma microcontrolada de baixo custo que possibilite a coleta, armazenamento e transmissão de parâmetros físico-químicos confiáveis encontrados em corpos hídricos.

## **1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **1.1. As águas superficiais e sua importância**

Segundo Alvarenga (2012), a água é um dos elementos naturais mais importantes e fundamentais para a manutenção da vida com qualidade bem como para o clima e até mesmo para a economia, motivo pela qual a importância do estudo das águas superficiais reside principalmente nas questões inerentes à gestão ambiental dos recursos hídricos, na sua unidade de planejamento à bacia hidrográfica.

Moreira (2018) afirma que a qualidade das águas destinadas ao consumo humano deve atender a padrões de qualidade e potabilidade, respeitando os padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no que se refere a características físicas, químicas e biológicas. Dessa forma, parâmetros físicos (cor, turbidez, temperatura, condutividade, etc.), físico-químico (pH, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, fósforo total etc.) e bacteriológicos (demanda bioquímica de oxigênio e coliformes fecais) devem ser periodicamente avaliados, de modo que a qualidade da água possa ser inferida (LIMA, 2011).

Para Cerqueira Neto e Silva (2015) o homem vem interferindo de forma desastrosa no meio ambiente, causando danos muitas vezes irreversíveis por meio da poluição, mas é inegável o avanço da pesquisa que objetivam o uso sustentável do meio ambiente. Dentre as fontes poluidoras, Amâncio (2018) destaca o lançamento inadequado de efluentes sanitários e industriais nos corpos hídricos, entretanto, a mineração e a agricultura também podem contribuir para deterioração da qualidade da água.

## **1.2. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA)**

Como forma de acompanhar a qualidade das águas, no sítio da Agência Nacional das Águas (2019) se encontra o PNQA que visa ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Atualmente a ANA opera em todo país com 1.340 pontos de monitoramento de qualidade das águas. São executadas por meio de sondas multiparâmetros análises de quatro parâmetros básicos (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura) *in loco*, não necessitando de coleta, transporte e análise de amostras em laboratórios.

Ainda de acordo com o sítio institucional os objetivos do programa são:

- *Eliminar as lacunas geográficas e temporais no monitoramento de qualidade de água.*

Devido ao alto custo envolvido no processo de coleta e análise das águas, muitos estados interrompem o acompanhamento e quando retornam deixam uma lacuna no monitoramento que não é possível reverter.

- *Tornar as informações de qualidade de água comparáveis em âmbito Nacional*

Pela inexistência de procedimentos padronizados para coleta e análise, amostras retiradas podem apresentar resultados distintos se realizadas por diferentes instituições, o PNQA visa padronizar esses processos.

- *Aumentar a confiabilidade das informações de qualidade de água*  
Proporcionar certificações padrões para os laboratórios que permitam a intercalibração ampliando assim a confiabilidade nos resultados.
- *Avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações de qualidade de água*  
Permitir que dados sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos sejam não só disponibilizados para interpretados para melhor compreensão e acesso de todos.

Bastos (2018) explica que no cenário federal um bom sistema de monitoramento dos recursos hídricos tem se mostrado cada vez mais importante, justificando a importância do PNQA, não só por oferecer subsídios a projetos públicos e privados, mas por permitir aos órgãos ambientais a atuação necessária no controle dos recursos e manutenção contínua dos mananciais.

### **1.3. Parâmetros Físico-Químicos**

Os parâmetros físico-químicos são interpretações de características presentes nos corpos d'água que podem alterar seu grau de pureza (SPERLING, 2014). Em sua maioria os parâmetros físicos estão relacionados com impurezas sólidas presentes na água podendo ser representados pela turbidez, sólidos dissolvidos, salinidade e pela temperatura. Já os parâmetros químicos estão associados a presença de matéria orgânica ou inorgânica, representados pelo pH, eletro condutividade, oxigênio dissolvido e outros.

#### **1.3.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH pode ser entendido com sendo as concentrações de íons de hidrogênio presentes no meio, variando numa escala de 0 a 14 (SENA, 2015). Os valores da escala são utilizados para classificar o meio como: ácido, neutro ou básico. Os valores menores que 07 indicam um meio ácido, o valor 07 indica um meio neutro, enquanto os valores acima de 07 indicam meios básicos. Sena (2015) afirma ainda que em águas naturais os valores de pH situam-se entre 6 e 8,5 e que o intervalo indicado ao consumo humano se encontra entre 6 e 9,5.

O monitoramento dos valores do pH não está associado a saúde humana uma vez que os mesmos não representam um mau significativo ao homem, entretanto os valores são

controlados por sua relação direta com outros parâmetros e a fim de diminuir a probabilidade de corrosão e incrustação das redes de distribuição (BASTOS, 2018).

### **1.3.2. Sólidos Totais Dissolvidos ou Total Dissolved Solids (TDS)**

Um dos parâmetros para determinação da qualidade das águas, o TDS, é a soma de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas encontradas dissolvidas na água. Para Funasa (2014) sólidos dissolvidos são aqueles que mesmo após processo de filtração permanecem na solução, normalmente constituídos por partículas de diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ . Essas substâncias são encontradas em formas de moléculas e íons e apresentam um peso total por unidade de volume, sendo medido em parte por milhão (PPM).

Segundo Bastos (2018) valores significativos desse parâmetro podem reduzir a zona eutrófica prejudicando organismos vivos e inferindo em outros parâmetros, comprometendo a qualidade da água, o que já justifica seu monitoramento em projetos ambientais.

### **1.3.3. Eletro Condutividade (EC)**

A Eletro Condutividade pode ser entendida como uma medida de total de sólidos dissolvidos uma vez que é por meio dos sais dissolvidos e ionizados presentes na água que a corrente elétrica é conduzida. Sena (2015) afirma que a eletro condutividade quantifica a capacidade da água em conduzir eletricidade por meio dos sais dissolvidos na forma de íons e ela pode variar de 50 e 1500  $\mu\text{S cm}^{-1}$  em águas superficiais.

As unidades de medida de Eletro Condutividade fornecidas são: Siemens por centímetro ( $\text{S cm}^{-1}$ ); microsiemens por centímetro ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ); e milisiemens por centímetro ( $\text{mS cm}^{-1}$ ). Monitorar este parâmetro em projetos que envolvam a qualidade das águas é fundamental pelo fato da eletro condutividade está diretamente relacionada ao teor de salinidade da água, o que pode comprometer o uso em diversas atividades humanas.

### **1.3.4. Salinidade**

A salinidade é medida por meio da condutividade elétrica e pode ser entendida com a quantidade de sais dissolvidos que são encontrados numa amostra de água. Richert (2018) afirma que as causas da salinidade estão relacionadas com o solo e o clima, podendo afetar as

águas superficiais e subterrâneas por meio dos fluxos entre elas e as quantidades de sal que elas contêm.

Para Fonseca (2019) os estudos sobre a salinidade dos rios contribuem para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, de forma a contribuir para a proteção da população ribeirinha e a conservação do ecossistema. A presença excessiva de sais pode tornar a água inútil para consumo humano e fins comerciais como indústria, agricultura e pecuária, sendo o custo de dessalinização ainda muito alto. Os níveis de salinidade da água doce devem ser menores do que  $500 \text{ mg L}^{-1}$  ou 0,5 ‰.

### **1.3.5. Oxigênio Dissolvido (OD)**

Um dos parâmetros mais importantes para mensurar a qualidade das águas, pois representa os níveis de oxigênio presentes naquele meio. Vital para os seres aquáticos aeróbios, monitorar o OD é monitorar a vida no meio aquático. Suas variações estão associadas a processos biológicos, químicos e até mesmo físicos que podem ocorrer nos corpos d'água. Funasa (2014) apresenta como níveis aceitáveis de oxigênio dissolvido para manutenção da vida em meio aquático estão na faixa de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  a  $5 \text{ mg L}^{-1}$ , sua ausência ou concentração pode intervir diretamente no meio e nos organismos existentes.

### **1.3.6. Temperatura**

Para Piratoba (2017) a temperatura reflete o grau de aquecimento das águas e da radiação solar, estando diretamente relacionada com fatores como clima, composição geológica, condutividade elétrica e por ações antrópicas. É o parâmetro que faz a medição da intensidade de calor e possui relação direta com os demais parâmetros.

A temperatura é um fator determinante para mensuração da qualidade das águas por exercer influência direta na velocidade das demais reações químicas e biológicas dos corpos d'água, incluindo a dissolução de sais (ALMEIDA, 2010), por padrão é utilizada a temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$  uma vez que os ambientes aquáticos brasileiros apresentam geralmente temperaturas entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$ .

## 1.4. Regionalização da pesquisa

### 1.4.1. Porto Seguro

A cidade de Porto Seguro está localizada no extremo sul da Bahia e segundo Cerqueira Neto (2012) é a referência na região turística conhecida como Costa do Descobrimento, destacando-se das demais cidades. Composta por cinco municípios, Porto Seguro, Eunápolis, Itabela, Santa Cruz Cabrália e Belmonte, a Costa do Descobrimento, com destaque a Porto Seguro e seus distritos, que representam um dos destinos turísticos mais visitados do nordeste brasileiro. Silva (2016) apresenta as fronteiras limítrofes de Porto Seguro que são: Santa Cruz Cabrália, Prado, Itabela, Itamaraju e Eunápolis e a leste o oceano atlântico, figura 1.

O município possui diversos corpos d'água, totalizando 22 rios de acordo com o PMMA - Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Porto Seguro/Bahia (LAMAS et al., 2014), dos quais destacam-se dois:



Figura 1 - Mapa do Extremo Sul da Bahia  
Autor: Cerqueira Neto (2012).

### 1.4.2. Rio Buranhém

Descrito no PMMA (2014), o rio Buranhém é considerado o maior rio do município de Porto Seguro-Ba e por cortar estados diferentes, uma vez que sua nascente encontra-se no estado de Minas Gerais é classificado como um rio federal. Por se tratar de um rio que corta muitos municípios de mais de um estado é esperada uma heterogeneidade apresentada quanto a principal fonte de poluição, os efluentes líquidos, em especial o lançamento do esgoto doméstico, afirma Santos et al. (2018).

O seu curso encontra-se paralelo à área urbana do município, possuindo influência direta na qualidade das praias, uma vez que sua foz também se encontra na região central da área urbana do município e deságua nas praias do litoral norte, conforme figura 2.

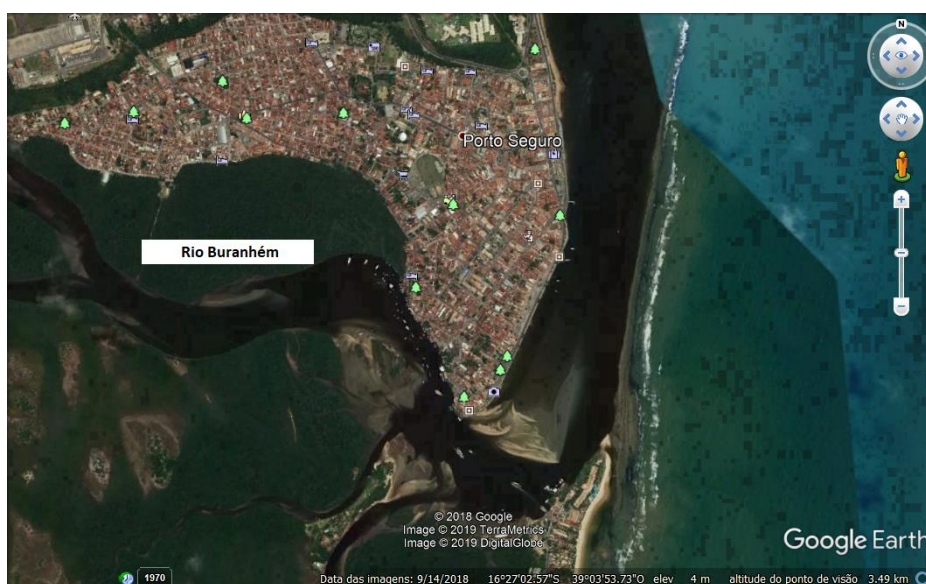


Figura 2 - Rio Buranhém, Porto Seguro - BA  
Fonte: Google Earth, 2019

### 1.4.3. Rio Mundaí

Descrito no PMMA (2014), o rio Mundaí é um rio municipal da cidade de Porto Seguro-Ba que perpassa o bairro Mundaí e é formado pela junção de pequenos cursos d'água provenientes dos platôs e da região praiana, com foz na praia de mesmo nome. Uma vez que deságua nas praias do litoral norte também possui grande influência na qualidade das praias. A figura 3 mostra que se trata de um rio pequeno com pouco volume d'água e com as margens bastante degradadas.





Figura 3 - Rio Mundaí, Porto Seguro - BA  
Autor: Cunha (2019)

## **1.5. Tecnologias e suas aplicações na Gestão Ambiental**

### **1.5.1. Automação por unidades microprocessadas**

Com avanço tecnológico e criação de unidades microprocessadas dotadas de maior capacidade de processamento, a automação vem se desenvolvendo rapidamente nas mais distintas áreas, podendo ser encontrada inclusive em soluções voltadas ao meio ambiente.

O microprocessador é a unidade de processamentos dos dados, o cérebro dos dispositivos, encontrado numa pastilha de silício. Segundo Schuh (2017) em 1971 a Intel lança no mercado seu primeiro microprocessador comercial com transistores medindo 10.000 nm, hoje a tecnologia possibilita o desenvolvimento de transistores de 14nm, o que representa uma redução significativa no tamanho do circuito integrado (chip), na quantidade de transistores presentes no microprocessador e conseqüentemente na velocidade de processamento dos dados.

Na automação pode-se usar circuitos digitais simples ou circuitos microprocessados o que permite soluções das mais diferenciadas possíveis. Circuitos simples consistem em soluções que a partir de uma sequência de eventos definidos sempre geram a mesma saída, já os circuitos microprocessados se diferenciam por possuir uma vasta possibilidade de funcionalidades definidas por um código programável, o que permite estabelecer novas rotinas a solução mediante alteração do código de automação.

Os circuitos microprocessados são os mais comumente encontrados em todos equipamentos que estão à nossa volta, muitos deles com mais um componente microprocessado a exemplo de televisores, celulares, tablets, e outros.

### 1.5.2. Microcontrolador

Pode-se entender por microcontrolador um sistema computacional dentro de um circuito integrado ou chip. Internamente ele contém um microprocessador, unidades de memórias, portas de entradas e saídas, conversores analógicos / digitais, além de portas seriais de comunicação, reguladores de tensão e outras funcionalidades.

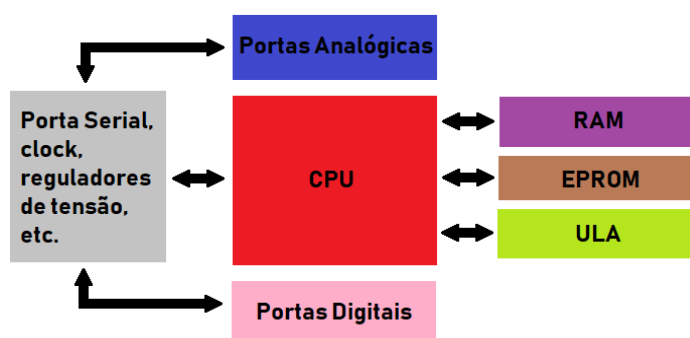


Figura 4 - Arquitetura de um microcontrolador  
Autor: Cunha (2019)

Na figura 4 estão presentes os principais componentes que um microcontrolador possui, destacando-se:

**CPU** ou Unidade Central de Processamento, local onde todas as informações são processadas, diversos modelos existem no mercado sendo um dos principais responsáveis pelo desempenho do sistema computacional;

**ULA** ou Unidade Lógica Aritmética, responsável pelas operações matemáticas e de decisão;

**RAM** ou Memória de Acesso Randômico, dispositivo volátil de armazenamento temporário, ou seja, precisa de energia para armazenar informações;

**EPROM** ou Memória de Leitura Programável, dispositivo de armazenamento permanente, não volátil, é o local onde as funcionalidades do microcontrolador ficam armazenadas;

**PORTAS ANALÓGICAS** são portas somente de entradas de dados e servem para coletar sinais analógicos do meio externo;

**PORTAS DIGITAIS** são portas de entradas e saída que podem ler dados externos bem como enviar instruções a dispositivos conectados ao microcontrolador;

**PORTAS SERIAIS, REGULADORES DE TENSÃO E CLOCK** são responsáveis por garantir a comunicação dos componentes interna e externamente.

O microcontrolador pode possuir uma infinidade de funções, todavia apenas executa aquelas para as quais foram programadas, novas funcionalidades precisam ser codificadas e o microcontrolador reprogramado. Pela sua natureza dinâmica, pelo seu tamanho reduzido, capacidade de processamento e armazenamento, baixo custo e programação fácil os microcontroladores normalmente estão inseridos nos dispositivos que ele controla, sendo assim chamados de embarcados.

Rodrigo, Carlos e Thatyana (2017) conceituam sistemas embarcados como sistemas eletrônicos microprocessados que depois de programados passam a exercer uma função específica geralmente sem poder ser alterada e cita como exemplo uma impressora, que apesar de possuir um processador que poderia ser programado para qualquer função exerce apenas a função de impressão de páginas.

Uma vez embarcados os microcontroladores executam as funções previamente definidas e armazenadas em sua memória, sendo muito usados em diversos dispositivos como: veículos, televisores, celulares e etc. Muitas funcionalidades podem ser agregadas aos microcontroladores por meio das conexões de entrada e saída e uso de conversor de sinal analógico/digital, promovendo um leque ainda maior de aplicações para plataforma.

### **1.5.3. Sensores**

Os sensores são dispositivos eletroeletrônicos que a partir do material fabricado têm a capacidade de transformar em sinal elétrico uma grandeza física ou química a que está relacionada, permitindo a mensuração e acompanhamento de resultados. Banzi et al. (2015) define sensores como componentes eletrônicos que convertem medidas do mundo real em sinais elétricos. Através dos sensores é possível a interação entre o meio e a máquina, permitindo monitoramentos dos dados ali existentes. Atualmente o uso de sensores para monitoramento das variáveis ambientais permite ações de preservação e recuperação de áreas que sofreram intervenções antrópicas. No ambiente aquático o mercado já dispõe de uma grande variedade de sensores para análise de parâmetros físico-químicos.

#### **1.5.4. Transmissão de Dados GSM/SMS**

Uma das tecnologias de comunicação de dados mais consolidadas do mercado seja pela área de cobertura mundial construída pelas operadoras de telefonia móvel, seja pela confiabilidade na entrega, o sistema GSM (Global System Mobile) se apresenta como uma excelente opção para transmissão de dados via SMS (Short Message Service).

Para Daniel, Douglas e Wesley (2017) o sistema GSM se destaca das tecnologias anteriores por fazer uso de canais digitais, pela sua ampla cobertura para utilização do serviço, essa depende diretamente de cada operadora, além do baixo custo do serviço de troca de SMS. Também conhecido por Serviço de Mensagens Curtas.

#### **1.5.5. Armazenamento de dados**

A queda dos custos associados a computadores bem como das diversas unidades de armazenamento de dados e o aumento da capacidade de processamento e armazenamento foram determinantes para a disseminação do uso das informações digitais, afirma Machado (2018). Muitas são as possibilidades de armazenamento de dados, todavia para projetos embarcados o uso de cartões de memória do tipo Micro SD tem se destacado pelo tamanho reduzido e elevada capacidade de armazenamento. A possibilidade da perda de dados coletados em projetos que envolvem análise e monitoramento de dados sem a possibilidade de recuperação das informações tem levado a sistemas de redundância no processo de armazenamento. Redundância consiste nos sistemas de monitoramento adotarem mais de uma forma de armazenamento, ou acesso a informações, sendo as mais comuns a transmissão dos dados para dispositivos móveis ou mesmo para as nuvens e o armazenamento local por meio de cartões de memória.

#### **1.5.6. Alimentação de energia**

Um dos desafios para os sistemas embarcados de uso em campo é o fornecimento de energia pelo tempo necessário ao monitoramento, daí fontes de alimentações alternativas à energia elétrica são usadas nos projetos. A mais comum é o uso de baterias recarregáveis que possam prover energia suficiente ao dispositivo pelo tempo necessário, sendo necessária a recarga sempre que a mesma se esgote, baterias portáteis são largamente usadas em projetos. Uma alternativa mais recente que começa a ter seu uso ampliado nos diversos projetos de

monitoramento são as baterias alimentadas por meio da energia solar por meio de placas fotovoltaicas. Da Silva et al. (2018), define painéis fotovoltaicos como sendo dispositivos capazes de converter energia solar em energia elétrica, gerando energia para o funcionamento dos mais diversos aparelhos elétricos. Placas solares são utilizadas para gerar energia e recarregar a bateria presente no dispositivo, evitando assim a necessidade de remoção do mesmo da área de monitoramento.

### **1.6. Trabalhos Relacionados**

A utilização em pesquisas de equipamentos que façam medições é algo natural, todavia muitos dos resultados coletados ficam na posse do pesquisador ou divulgados em publicações científicas, muitas vezes fora do alcance da população e dos órgãos de controle. Outro fator complicador é que muitos dos instrumentos coletores dos dados precisam ser removidos do meio e levados ao laboratório para extração e posterior processamento dos resultados, sendo muitos dos laboratórios especializados localizados em longas distância do ponto de coleta.

Pesquisas que envolvam as ciências ambientais e tecnologias disponíveis na atualidade tem sido cotidianamente desenvolvida em busca de soluções automatizadas que levem a uma compreensão mais rápida e confiável de parâmetros analisados no meio ambiente seja nas águas, ar ou solo.

A água, como elemento natural responsável pela manutenção da vida, tem se apresentado como campo promissor de pesquisas no que tange a determinação da qualidade por meio de análise de parâmetros físico-químicos. O estudo de parâmetros físico-químicos presente nas águas associada a plataforma microcontroladora Arduino pode-se justificar principalmente pelo seu baixo custo no desenvolvimento de protótipos e pela necessidade de acompanhamento contínuo do meio.

As tecnologias de automação, por meio de plataforma open source, tem em seu custo um grande atrativo para a construção de protótipos e tem despertado cada vez mais o interesse dos pesquisadores na área de monitoramento de parâmetros ou coleta, armazenamento e transmissão de dados. Associada as ciências ambientais a plataforma microcontroladora Arduino atualmente possui uma grande variedade de sensores desenvolvidos para análise de multiparâmetros, o que tem possibilitado uma grande variedade de pesquisas sobre os mais diferentes meios desejados.

Régis Silva (2017) faz uma comparação entre um termômetro construído com Arduino e outros termômetros disponíveis no mercado. A pesquisa referenciada tem como objetivo a

análise de qualidade das águas em especial do parâmetro temperatura, pela sua influência direta nos organismos aquáticos, para tanto, o autor apresenta um protótipo composto por um Arduino Uno, um sensor de temperatura DS18B20 e um leitor de cartão SD para fins de armazenamento. O estudo foi executado em tanques de cultivos de vidro com capacidade de 1000L, abastecidos com 800L. Os resultados comparativos entre o protótipo e termômetros do tipo espeto, laser e multipâmetro levaram a conclusão da confiabilidade dos resultados e possibilidade de substituição de equipamentos apenas para o sensor multiparâmetro, os demais o autor justifica a diferença de resultados na demora do equilíbrio térmico. O autor ressalta como ponto relevante da pesquisa o baixo custo dos materiais utilizados para construção do protótipo se comparado ao custo dos demais.

Um estudo apresentado por Diniz (2017) tem como base de pesquisa a agricultura mais especificamente o solo no que diz respeito a umidade e temperatura. Uma amostra de solo foi seca em estufa e dividida em vinte recipientes que receberam uma quantidade de água controlada em cada um deles. Para o monitoramento dos parâmetros desejados foi utilizada a plataforma microcontroladora Arduino Uno, sensores específicos de solo, rádio transmissores e demais componentes necessários para prototipação do dispositivo. Após análise dos dados coletados e comprovação da viabilidade do projeto o autor da pesquisa chama a atenção aos custos envolvidos; O protótipo apresentou um custo de R\$ 251,00 sendo necessário mais R\$ 115,00 referente ao gateway de transmissão enquanto o custo de um dispositivo chamado TDR igual ao utilizado na pesquisa é de R\$ 176.000,00.

A pesquisa de Santos (2017) tem como área a ser estudada a piscicultura, área responsável pela criação de peixes em cativeiro. O objetivo do autor é a mensuração do pH e temperatura da água com envio dos resultados por e-mail e notificação de valores fora da faixa estabelecida como essencial para criação de cada espécie. Para isso o projeto foi pensado utilizando a plataforma microcontroladora Arduino Mega, uma placa Ethernet Shield para envio dos dados, um sensor de pH SEN0161 da Dfrobot e um sensor de temperatura DS18B20. Após coleta e comparação dos dados adquiridos pelo protótipo e por um peagâmetro portátil modelo PH-201. Santos (2017) conclui ser viável o desenvolvimento do sistema automático ressaltando como principais diferenciais a redução de custo, o monitoramento remoto e principalmente a possibilidade de prejuízos causados pela má qualidade da água nesse ramo de negócio.

No interesse de análise de mais de dois parâmetros físico-químicos Voltan (2015) usa a plataforma microcontroladora Arduino no monitoramento de parâmetros como Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade Elétrica e Temperatura da água e análise óptica de

gotejadores. O projeto foi dividido em etapas inter-relacionadas levando a criação de protótipo capaz de medir em tempo real os parâmetros e armazená-los podendo ser acessados posteriormente por meio de editores de textos ou planilhas eletrônicas, não foi identificada na pesquisa a transmissão dos dados remotamente. Como umas das principais conclusões o autor afirma que o software integrado de aquisição de dados desenvolvido na plataforma Arduino é um sistema viável economicamente pelos baixos custos envolvidos e apresentou boa precisão nos dados coletados.

Assim percebe-se a tecnologia ambiental como vasto campo de pesquisa ainda em aberto, sendo viável o desenvolvimento de protótipo para coleta e armazenamento de parâmetros físico-químicos das águas, bem como transmissão dos dados, tudo em plataforma Arduino, justificado no baixo custo envolvido no projeto e precisão dos dados coletados.

### **1.7. Prospecção Tecnológica**

A busca por inovações científicas e tecnológicas, que poderão determinar o comportamento adotado pelo mercado e sociedade no futuro, pode ser entendido como prospecção tecnológica. Um dos meios mais conhecidos para busca dessas tendências são as bases de patentes, sendo as principais bases na atualidade: O INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial e o Google Patents. O processo de prospecção se dar principalmente por meio de palavras chaves. Essas palavras devem estar associadas ao interesse do pesquisador, essa metodologia foi utilizada nas bases de patentes citadas acima e dez conjuntos de palavras chaves associadas ao objetivo desta pesquisa foram consultadas, o resultado está na tabela 1.

Vale ressaltar que a escolha das palavras chaves são livres, o que amplia e muito a possibilidade de pesquisa nas bases, todavia muitos depósitos podem passar despercebidos caso a escolha das palavras chaves não sejam bem definidas. Tomando como referência apenas os resultados encontrados na base do INPI, que totalizaram 22 depósitos, a tabela 2 abaixo foi elaborada por conjunto de palavras chave pesquisada:

BUSCA	Resultados Encontrados	
	INPI	Google patents
Sensores Ambientais	3	292
Sistema Ambiental Remoto	0	92
Monitoramento Ambiental	13	519
Aparato para Monitoramento Ambiental	1	377
Sistema Eletrônico de Monitoramento Ambiental	0	109
Water Apparatus In Situ Arduino	0	115
Dispositivo Multiparâmetro Ambiental	0	1
Qualidade das Águas	3	1067
Qualidade de Corpos Hídricos	0	15
Qualidade dos Rios	2	254

Tabela 1 - Consulta a base do INPI e Google Patents em 13/02/19  
Autor: Cunha (2019)

RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "MONITORAMENTO AMBIENTAL"				
ID	Pedido	Data do Depósito	Depositante	País
1	BR 11 2018 012111 8 A2	09/12/2016	ST REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES, LLC (US)	US
2	BR 10 2013 008919 2 A2	12/04/2013	Justing Technology (Taiwan) Pte Ltd. (TW)	TW
3	BR 11 2013 028875 2 A2	15/05/2012	ENI S.p.A. (IT)	IT
4	BR 11 2013 007511 2 A2	16/02/2012	THE GOVERNMENT OF THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (US)	US
5	BR 11 2012 008425 9 A2	11/10/2010	LAITRAM L.L.C. (US)	US
6	PI 0901457-8 A2	05/05/2009	União Brasileira de Educação e Assistência - Mantenedora da Puc RS (BR/RS)	BR
7	MU 8801938-1 U2	24/09/2008	Rolando Raul Boledi (BR/SP)	BR
8	PI 0501220-1 A2	30/03/2005	Yara Ambiental Ltda (BR/MG)	BR
9	PI 0204008-5 A2	11/09/2002	Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (BR/SP)	BR
10	PI 0215800-0 A2	16/07/2002	GS GestioneSistemi S.R.L. (IT)	IT

Tabela 2 - Resultados por palavras chaves pesquisadas na base do INPI  
Autor: Cunha (2019)



RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "MONITORAMENTO AMBIENTAL"				
11	PI 9904573-7 A2	13/08/1999	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S/A - IPT (BR/SP)	BR
12	MU 7900896-8 U2	27/05/1999	Embrapa Instrumentação Agropecuária (BR/SP)	BR
13	MU 7301541-5 U2	29/07/1993	Companhia Vale do Rio Doce (BR/MG)	BR

RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "SENSORES AMBIENTAIS"				
ID	Pedido	Data do Depósito	Depositante	País
1	BR 11 2019 000440 8 A2	26/07/2017	INVENTIO AG (CH) - Suíça	CH
2	PI 1106384-0 A2	15/09/2011	José Moacir Tesch (BR/DF) / Noermeson Tertuliano da Silva (BR/DF)	BR
3	BR 11 2013 002839 4 A2	02/08/2011	Scott Technologies, Inc. (US)	US

RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "APARATO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL"				
ID	Pedido	Data do Depósito	Depositante	País
1	PI 0901457-8 A2	05/05/2009	União Brasileira de Educação e Assistência - Mantenedora da Puc RS (BR/RS)	BR

RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "QUALIDADE DAS ÁGUAS"				
ID	Pedido	Data do Depósito	Depositante	País
1	PI 1000800-4 A2	26/03/2010	ASSOCIAÇÃO INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA E GER. AMBIENTAL (BR/SP)	BR
2	PI 9504673-9 B1	15/09/1995	Rhodia Brasil Ltda. (BR/SP)	BR
3	PI 8805585-0 A2	27/10/1988	Richter Gedeon Vegyészeti Gyár R T (HU) - Hungria	HU

RESULTADO NO INPI POR PALAVRAS CHAVE "QUALIDADE DOS RIOS"				
ID	Pedido	Data do Depósito	Depositante	País
1	BR 10 2016 019777 5 A2	26/08/2016	DÉBORA ZUMKELLER SABONARO (BR/SP)	BR
2	MU 8901754-4 Y1	06/08/2009	Universidade Federal de Sergipe (BR/SE)	BR

Tabela 3 - Resultados por palavras chaves pesquisadas na base do INPI - Continuação  
Autor: Cunha (2019)

Numa análise mais detalhada se identifica que o depósito PI 0901457-8 A2 de 05/09/2009 da União Brasileira de Educação e Assistência – Mantenedora da PUC (BR/RS) apareceram em duas buscas por palavras chaves, esse fato se deve pela presença em ambas as buscas das palavras: “Monitoramento Ambiental”.

Abaixo é apresentada a figura 5 com o número de depósitos por país depositante, sem período delimitado na busca. Por se tratar do INPI nota-se que o Brasil possui maior número de solicitações, todavia observa-se mais a presença de pedidos de mais cinco países, o que pode ser entendido como interesse mundial na busca por soluções que envolvam as tecnologias ambientais.

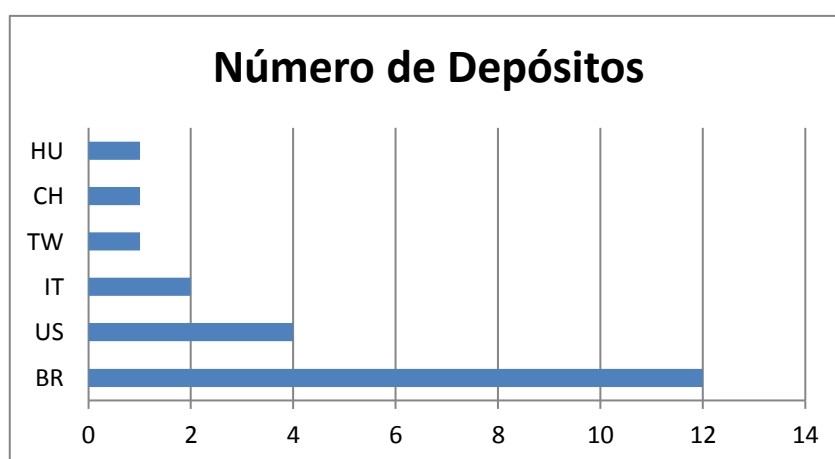


Figura 5 - Gráfico da quantidade de depósitos no INPI por país solicitante.  
Autor: Cunha (2019)

Como resultado da pesquisa em ambas as bases com a palavra chave “Qualidade das Águas” foi identificado um depósito feito em 26 de março de 2010 de título: *Sistema de Monitoramento da Qualidade das Águas em Tempo Real*. O depositante foi a *Associação Instituto Internacional de Ecologia e Ger. Ambiental (BR/SP)* de inventor o senhor *José Galízia Tundisi*.

O resumo apresentado pelo inventor apresenta uma invenção aplicada à engenharia ambiental com foco no monitoramento da qualidade das águas em tempo real, objetivando identificar de forma imediata e assertiva possíveis impactos sofridos pelos corpos hídricos, possibilitando medidas que visem a correção em fase inicial reduzindo gastos e aumentando a eficiência do tratamento. O inventor afirma que o dispositivo conta com sistemas de aquisição de dados, controle de profundidade, comunicação, geração de energia, plataforma de apoio e sonda, o que possibilita em várias profundidades e em tempo real a transmissão de dados para

acesso por meio da internet. Os dados transmitidos são: pH, condutividade, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, potencial de oxirredução e outros.

Após análise do resumo do depósito não foi possível determinar qual plataforma microcontroladora o inventor fez uso, nem os tipos de sensores utilizados, entretanto, nota-se similaridades com o projeto de pesquisa dessa dissertação.

O crescente número de pesquisas na linha da tecnologia ambiental que visam a automação do monitoramento de diversos parâmetros naturais com uso de dispositivos de baixo custo e o reduzido número de depósito de patente identificado, apresenta um vasto campo para pesquisas e reforça a viabilidade de implementação do estudo proposto.

### **3. OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo Geral**

Criar um sistema integrado (hardware e software) de análise de águas superficiais através do uso de sensores a fim de possibilitar a análise assistida (coleta, armazenamento e transmissão de dados) da qualidade das águas de um corpo hídrico em suas variações temporais e espaciais.

#### **2.2. Objetivos Específicos**

- Apresentar como avanço tecnológico e a automação de processos por meio de microcontroladores de baixo custo podem contribuir para a análise assistida de águas superficiais por meio de dispositivos eletrônicos;
- Construir sistema integrado (hardware) dotado de sensores (Eletro Condutividade, Salinidade, Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Oxigênio Dissolvido, Temperatura) em plataforma Arduino;
- Desenvolver programa (software) em linguagem C++ de leitura, armazenamento e transmissão dos dados coletados;
- Aplicar o sistema desenvolvido em laboratório com amostras de águas coletadas da Empresa de Saneamento da Bahia - EMBASA, do rio Mundaí e da foz do rio Buranhém.
- Validar do protótipo desenvolvido utilizando-se de dois parâmetros relevantes: a funcionalidade (o equipamento visa entregar como resultados, de curta e longa duração, estimativas de medidas das grandezas supracitadas, de forma simples, objetiva e efetiva) e a fidelidade dos resultados (comparativo com medidas de um equipamento comercial, a sonda Hanna).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. Etapas da pesquisa

O processo de pesquisa ocorreu em diversas etapas e de forma conjunta, objetivando o desenvolvimento de uma solução para linha das tecnologias ambientais com uso de automação nos processos de coleta, armazenamento e transmissão de dados por meio de unidades microcontroladoras e sensores ambientais de parâmetros físico-químicos.

Inicialmente realizou-se um levantamento pelas referências bibliográficas que contribuíssem para realização do estudo, esse processo foi acompanhada do levantamento dos dispositivos existentes no mercado, bem como dos componentes de baixo custo que permitissem a prototipação da solução proposta.

Geetha et al. (2016) apresenta um detalhado estudo de revisão dos principais trabalhos ligados ao uso de microcontroladores para monitoramento e análises de parâmetros ambientais, destacando os dispositivos mais utilizados na busca de soluções de automação ligados a tecnologias ambientais, o que serviu como uma das bases para escolha da plataforma a ser usada.

Dentre as opções disponíveis no mercado constatou-se que a plataforma microcontroladora mais adequada para o projeto seria o Arduino. Nessa etapa foram analisadas as plataformas: Arduino, Raspberry Pi 3, Artik 5, LaunchPad MSP430, Hikey 960 e NodeMCU. Os dispositivos analisados apresentaram pontos fortes e fracos quando comparadas uns com os outros e com os objetivos da pesquisa, seja no valor da compra, na capacidade de processamento, na facilidade de programação e até mesmo na disponibilidade no mercado de sensores desenvolvidos para tais plataformas. Como uma das principais características buscadas no estudo, o baixo custo associado a capacidade de processamento das funções desejadas foi determinante para definição da escolha pela plataforma Arduino, além de outros pontos fundamentais como: Hardware e software livre, Linguagem de programação de fácil codificação e múltiplos sensores ambientais disponíveis no mercado.

Definida a plataforma microcontroladora a ser utilizada, iniciou-se o processo de busca no mercado por fabricantes de dispositivos voltados ao monitoramento do meio ambiente, principalmente de corpos hídricos, por meio da automação com Arduino, assim foram definidos os sensores a serem utilizados e demais componentes necessários ao estudo.

A etapa de codificação das funcionalidades propostas na pesquisa foi executada no próprio ambiente de desenvolvimento integrado do microcontrolador a IDE (Integrated Development Environment). Neste ambiente foram desenvolvidas as rotinas que permitiram fazer a coleta, armazenamento e transmissão de dados.

Dando continuidade ao processo de pesquisa, foi necessária a definição dos pontos de coletas das amostras. Em Porto Seguro, os rios Mundaí e Buranhém, em decorrência da sua proximidade da região urbana e necessidade latente de verificação da qualidade da água, foram escolhidos para estudo dessa pesquisa. Já as amostras da Embasa foram coletadas no Campus do IFBA.

Alguns sensores físicos-químicos de meios hídricos necessitam passar por processo de calibração, a fim de garantir confiabilidade nos resultados coletados, para tanto, cada fabricante orienta como deve-se proceder a calibragem dos seus sensores. Normalmente soluções padrões são necessárias para este processo. Soluções padrões trazem em seu conteúdo valores pré-definidos que são utilizadas a fim de registrar, na memória interna dos equipamentos, valores previamente conhecidos e definidos em laboratório, que servirão de referência para leitura dos dados nos mais diversos meios.

Nesta etapa calibrou-se os sensores do protótipo bem como da sonda multiparâmetro Hanna HI9828. A Sonda multiparâmetro Hanna HI9828 é um equipamento adquirido pelo Instituto Federal da Bahia – Campus Porto Seguro utilizada para medir parâmetros físico-químicos de corpos hídricos e que servirá como fator comparativo aos resultados alcançados. Uma vez calibrados iniciaram-se as etapas de leitura de dados e análise das amostras por meio da sonda multiparâmetro Hanna HI9828 e da sonda prototipada, essas etapas foram efetuadas dentro dos laboratórios de química do Instituto Federal da Bahia - Campus Porto Seguro.

### **3.2. Local de pesquisa**

A pesquisa foi desenvolvida no Campus Porto Seguro do Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Localizado as margens da BR 367, km 57,5, bairro Fontana na Cidade de Porto Seguro – BA o Campus possui na sua infraestrutura laboratórios tecnologicamente equipados que permitiram a prática experimental da pesquisa. A Figura 6 apresenta o Campus.



Figura 6 - IFBA Campus Porto Seguro, Bahia, Brasil  
Fonte: Google Maps (2018)

Dividida em etapas, no laboratório de manutenção e eletrônica do Campus foi desenvolvida a solução integrada de hardware e software para coleta, armazenamento e transmissão de dados. Após conclusão da prototipação a próxima etapa ocorreu nos laboratórios de química, onde foram executadas as leituras e análises das amostras coletadas junto a Embasa, rio Mundaí e foz do rio Buranhém.

As amostras do rio Buranhém foram coletadas no pier do condomínio Marina Buranhém, localizado na Estrada Pedra do Imbuque, nº 431, Campinho, Porto Seguro – BA (Figura 7).

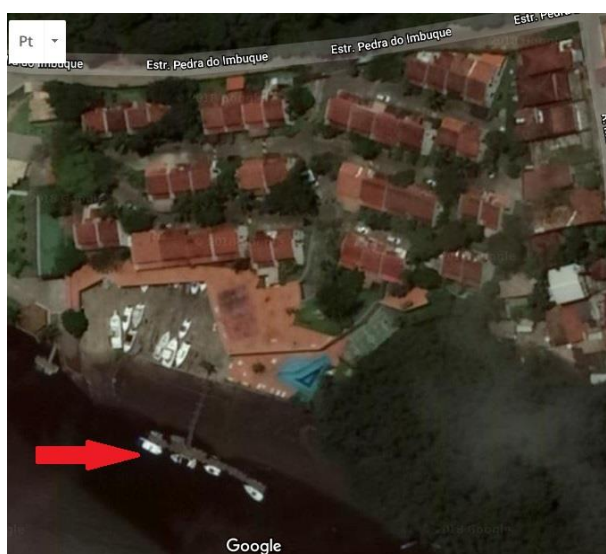


Figura 7 - Localização da coleta de amostras de águas do rio Buranhém  
Fonte: Google Maps (2018)

Já as amostras do rio Mundaí foram coletadas num acesso localizado na rua da Monarquia, nº 74, Baixo Mundai, Porto Seguro - BA (Figura 8).



Figura 8 - Rua de acesso ao rio Mundaí  
Autor: Cunha (2019)

Nota-se que o entorno do rio possui diversas construções residenciais e comerciais, sendo de fácil acesso. A figura 9 mostra o trecho do rio onde a amostra foi coletada.

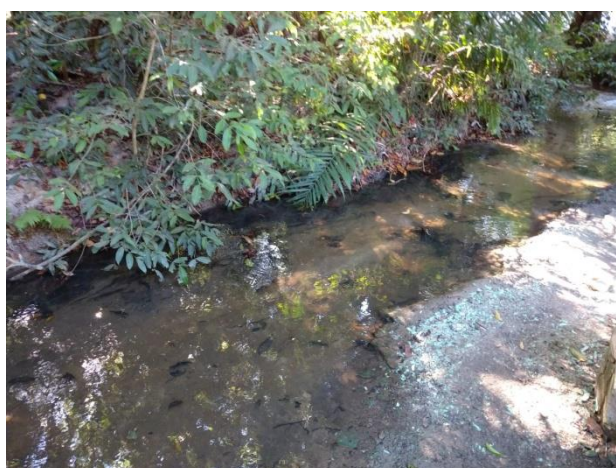


Figura 9 - Ponto de coleta das amostras de águas do rio Mundaí  
Autor: Cunha (2019)

### 3.3. Unidade Microcontroladora e Sensores Ambientais

#### 3.3.1. Arduino

Como plataforma microcontroladora o Arduino foi escolhido pela sua escalabilidade, baixo custo, facilidade de manuseio, programação integrada e baixo consumo de energia. O coração do Arduino é o microcontrolador que ele possui, os demais componentes existentes na placa são para alimentação de energia e comunicação de entrada e saídas com dispositivos externos (MONK, 2017).

Os pinos de entradas existentes no Arduino podem ler dados digitais (binário) ou analógicos (tensão existente no pino naquele momento) o que permite a interação com os



mais diversos tipos de sensores disponíveis e compatíveis com a plataforma. Um projeto de leitura de dados por meio de sensores poderá usar qualquer fabricante que desenvolva um sensor que leia dados digitais ou analógicos, sendo sua interação com a plataforma Arduino transparente. Assim como as entradas, as portas de saídas também podem ser digitais ou analógicas, isso permite de controles simples como ligar e desligar um dispositivo (saída digital), a controle mais elaborados como controlar a força de um motor ou a luminosidade de uma luz (saída analógica).









	Arduino Uno	Arduino Mega2560	Arduino Leonardo	Arduino Due	Arduino ADK	Arduino Nano	Arduino Pro Mini	Arduino Esplora
								
Microcontrolador	ATmega328	ATmega2560	ATmega32u4	AT91SAM3X8E	ATmega2560	ATmega168 (versão 2.x) ou ATmega328 (versão 3.x)	ATmega168	ATmega32u4
Portas digitais	14	54	20	54	54	14	14	-
Portas PWM	6	15	7	12	15	6	6	-
Portas analógicas	6	16	12	12	16	8	8	-
Memória	32 K (0,5 K usado pelo bootloader)	256 K (8 K usados pelo bootloader)	32 K (4 K usados pelo bootloader)	512 K disponível para aplicações	256 K (8 K usados pelo bootloader)	16 K (ATmega168) ou 32K (ATmega328), 2 K usados pelo bootloader	16 K (2k usados pelo bootloader)	32 K (4 K usados pelo bootloader)
Clock	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	84 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	8 Mhz (modelo 3.3v) ou 16 Mhz (modelo 5v)	16 Mhz
Conexão	USB	USB	Micro USB	Micro USB	USB	USB Mini-B	Serial / Módulo USB externo	Micro USB
Conector para alimentação externa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Tensão de operação	5v	5v	5v	3.3v	5v	5v	3.3v ou 5v, dependendo do modelo	5v
Corrente máxima portas E/S	40 mA	40 mA	40 mA	130 mA	40 mA	40 mA	40 mA	-
Alimentação	7 - 12 Vdc	7 - 12 Vdc	7 - 12 Vdc	7 - 12 Vdc	7 - 12 Vdc	7 - 12 Vdc	3.35 - 12 V (modelo 3.3v), ou 5 - 12 V (modelo 5v)	5v

Figura 10 - Comparação dos principais Arduinos disponíveis no mercado.

Fonte: <http://luthortronics.com.br/qual-arduino-comprar-conheca-os-tipos-de-arduino/> (2018)

A Figura 10 apresenta as principais especificações técnicas de alguns tipos de Arduino disponíveis no mercado para escolha da plataforma a ser adotada.

A família Arduino é muito ampla e para cada placa disponível existem especificações técnicas que serão determinantes para a escolha de qual plataforma usar na solução que se busca alcançar. Todavia, todas são programadas por meio do seu ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) com a mesma linguagem e utilizam o mesmo conceito de portas analógicas e digitais para a maioria das conexões com outros dispositivos, assim pode-se facilmente trocar uma placa por outra com mais recursos.

Uma vez que a pesquisa pretende monitorar seis parâmetros físico-químicos que são encontrados nas águas, além de armazenar os dados em cartão micro-SD e transmiti-los por meio de tecnologia GMS/SMS, a plataforma Arduino Mega2560 (Figura 11) foi a escolhida sendo o fator decisivo de escolha a memória de 256Kb, o que garante melhor desempenho a solução.



Figura 11 - Arduino Mega2560

Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3> (2018)

Monk (2017) apresenta o Arduino Mega como carro de alta performance das placas Arduino e justifica esta afirmação na grande quantidade de portas de entrada e saída presente na placa além de um processador alto desempenho.

### 3.3.2. Sensores Dfrobot

Atualmente no mercado são ofertadas algumas soluções voltadas a monitoramento de parâmetros de qualidade das águas por meio de sensores, todavia as que se apresentaram tecnologicamente mais confiáveis foram da Atlas Scientific e da Dfrobot, ambas compatíveis a solução microcontroladora escolhida para o projeto. Uma vez que a pesquisa tem como objetivo a criação de protótipo de baixo custo e na comparação de valores apresentados pelas empresas a Dfrobot apresentou orçamento significativamente inferior ao da Atlas Scientific uma análise baseada no estabelecimento de pesos e pontos para cada critério adotado no processo de escolha, conhecida como análise multicritério apontou para adoção da solução da Dfrobot.

A partir das opções de sensores disponibilizados pela Dfrobot visando à mensuração de índices de qualidade das águas foram definidos os seguintes parâmetros a serem analisados: **Temperatura** (DS18B20), **Totais de Sólidos Dissolvidos** (SEN0244), **Eletro**

**Condutividade** (SEN0244), **Salinidade** (SEN0244), **Oxigênio Dissolvido** (SEN0237-A) e **pH** (SEN0161).

### 3.3.3. DS18B20 – Sensor de Temperatura

Este sensor a prova d'água fornece leituras de temperatura utilizando apenas uma porta digital do microcontrolador e pode operar com alimentação entre 3,0 e 5,0V. A Figura 12 apresenta o sensor.



Figura 12 - Sensor Waterproof - DS18B20  
Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1354.html> (2018)

A tabela 3 apresenta as especificações técnicas do sensor fornecidas pelo fabricante, onde se pôde verificar que o mesmo atende ao estudo em andamento.

<b>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS</b>	
Alimentação	3,0~ 5,5V
Precisão	±0,5°C na faixa de -10°C to +85°C
Faixa de Medição	-55 to 125°C (-67°F to +257°F)
Pinagem	Requer apenas um pino digital
Ligação em série	Permite vários sensores em um único pino
Tempo de resposta	Menor que 750ms
Pinos usados	Energia (VCC), Terra(GND) e dados(DATA)
Diâmetro do tubo inox	6mm
Comprimento do tubo inox	35mm
Diâmetro do cabo	4mm
Tamanho do cabo	90cm

Tabela 4 - Especificações do Sensor de Temperatura DS18B20  
Autor: Cunha (2019)

Fabricado com material inoxidável o sensor DS18B20 possui um cabo de 90 cm e módulo resistor para fácil interligação com a plataforma arduino. A figura 13 demonstra como fazer esta interligação.

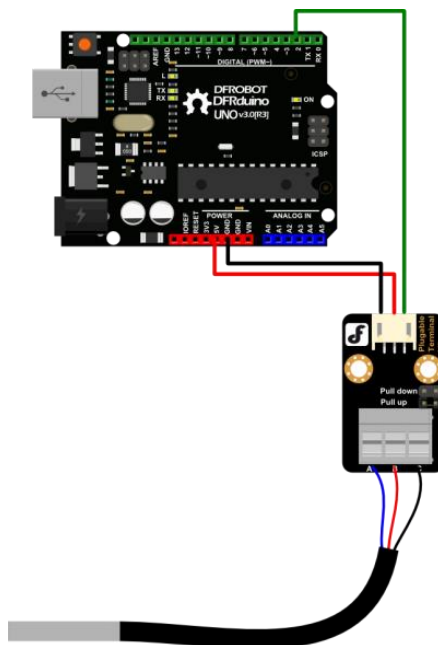


Figura 13- Conexões do Sensor Waterproof - DS18B20

Fonte: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/File:DFR0198Connection\\_1.png](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/File:DFR0198Connection_1.png) (2019)

#### 3.3.4. SEN0244 – Sólidos Totais Dissolvidos

O sensor de STD (Sólidos Totais Dissolvidos) SEN0244 opera com voltagem de entrada na faixa de 3,3~5,5V e de saída com 0~2,3V de sinal analógico, compatível com controladores que usam 5V ou 3,3V. A Figura 14 apresenta o sensor.

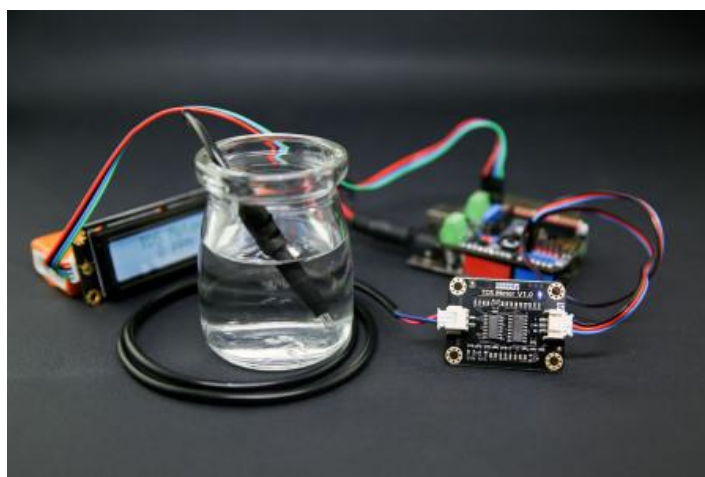


Figura 14 - Sensor Analógico TDS – SEN0244

Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1662.html> (2018)

Uma vez definida a necessidade de acompanhamento desse parâmetro no estudo proposto, a tabela 4 apresenta mais detalhadamente às especificações técnicas do sensor fornecidas pelo fabricante.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Alimentação de entrada	3,3 ~ 5,5V
Voltage de saída	0 ~ 2,3V
Corrente em que opera	3 ~ 6mA
Precisão	$\pm 10\%$ F.S. (25°C)
Faixa de Medição	0 ~ 1000 ppm
Tamanho	4,2cm * 3,2cm
Pinos usados	Energia (VCC), Terra(GND) e dados(DATA)
Interface do módulo	PH2.0-3P
Interface do eletrodo	XH2.54-2P
Tamanho do sensor	83cm
Número de agulhas	2

Tabela 5 - Especificações do Sensor de Temperatura SEN0244  
Autor: Cunha (2019)

Por serem parâmetros diretamente relacionados, com os resultados obtidos por este sensor pode-se calcular a Eletro Condutividade e Salinidade da amostra. A Figura 15 demonstra como interligar o sensor ao arduino.

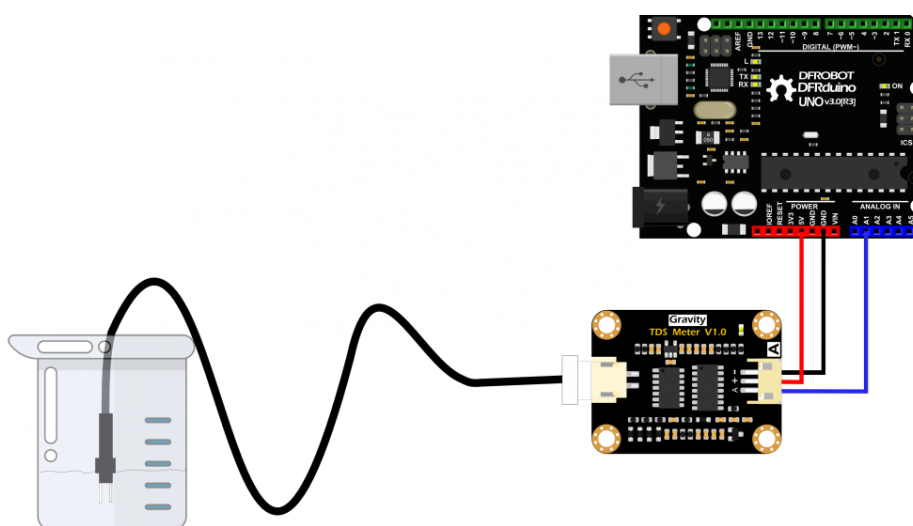


Figura 15 - Sensor Analógico TDS – SEN0244

Fonte: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Gravity:\\_Analog\\_TDS\\_Sensor/\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU:\\_SEN0244](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Gravity:_Analog_TDS_Sensor/_Meter_For_Arduino_SKU:_SEN0244) (2019)

### 3.3.5. SEN0237-A – Oxigênio Dissolvido

Este sensor é usado para medir o oxigênio dissolvido na água, um dos parâmetros mais importante para a vida em ambientes aquáticos, ele possui estrutura galvanizada e é compatível com a maioria dos microcontroladores do mercado. A Figura 16 apresenta o sensor.



Figura 16 - Sensor de Oxigênio Dissolvido – SEN0237-A  
Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1628.html> (2018)

Após análise do sensor a tabela 5 foi criada para apresentação mais detalhada das especificações técnicas do sensor fornecidas pelo fabricante.

<b>ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS</b>	
Alimentação de entrada	3,3 ~ 5,5V
Voltage de saída	0 ~ 3,0V
Faixa de pressão	0 ~ 50 PSI
Precisão	±10% F.S. (25°C)
Faixa de Medição	0 ~ 20 mg/L
Tamanho	4,2cm * 3,2cm
Três interfaces	Energia (VCC), Terra(GND) e dados(DATA)
Interface do módulo	PH2.0-3P
Interface do eletrodo	BNC
Tamanho total	2,0m
Material do eletrodo	Aço Galvanizado
Tempo de resposta	Até 98% dentro de 90 segundos a 25°C
Troca da membrana	1 a 2 meses em água barrenta; 4 a 5 meses em água limpa.
Troca da solução	Uma vez por mês

Tabela 6- Especificações do Sensor de Temperatura SEN0237-A  
Autor: Cunha (2019)

Segundo o fabricante o sensor faz uso de três pinos da unidade microcontroladora, um pino para fornecimento de energia, um pino para aterramento visando à segurança do dispositivo e um pino de dados, para coleta das informações do meio. A figura 17 que demonstra como interligar o sensor ao arduino.

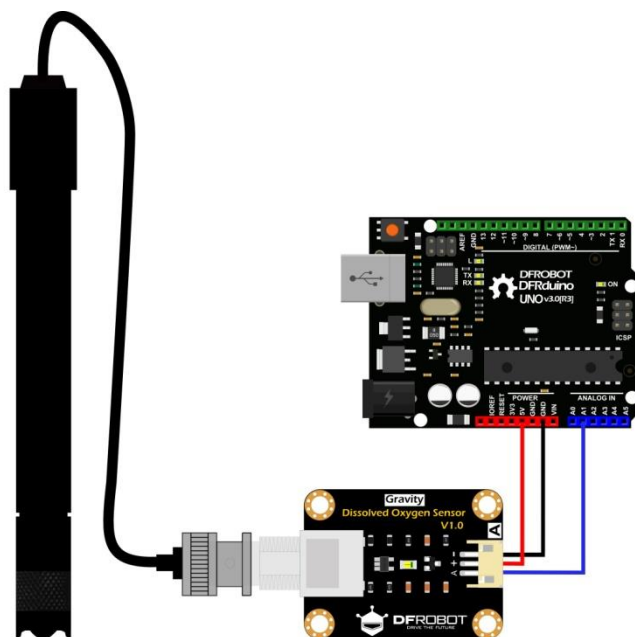


Figura 17 - Sensor de Oxigênio Dissolvido – SEN0237-A  
Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1628.html> (2019)

### 3.3.6. SEN0161 – pH

Projeto especificamente para trabalhar com arduino este sensor mede o potencial hidrogeniônico da água. Seu resultado pode classificar o meio como ácido, neutro ou básico. A Figura 18 apresenta o sensor.



Figura 18 - Sensor de pH – SEN0161  
Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1025.html> (2018)

A tabela 6 apresenta de forma mais detalhada das especificações técnicas do sensor fornecidas pelo fabricante.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Alimentação de entrada	5,0V
Faixa de temperatura	0 ~ 60 °C
Precisão	±0,1pH (25°C)
Faixa de Medição	0 ~ 14pH
Tamanho	4,2cm * 3,2cm
Três interfaces	Energia (VCC), Terra(GND) e dados(DATA)
Interface do módulo	PH2.0-3P
Interface do eletrodo	BNC
Potenciômetro de ajuste	SIM
Led de funcionamento	SIM
Tempo de resposta	Menor ou igual a 1min

Tabela 7 - Especificações do Sensor de Temperatura SEN0161

Autor: Cunha (2019)

De fácil interligação com a plataforma arduino, demonstrado na figura 19, este sensor apresenta ainda um potenciômetro para ajuste no processo de calibração.

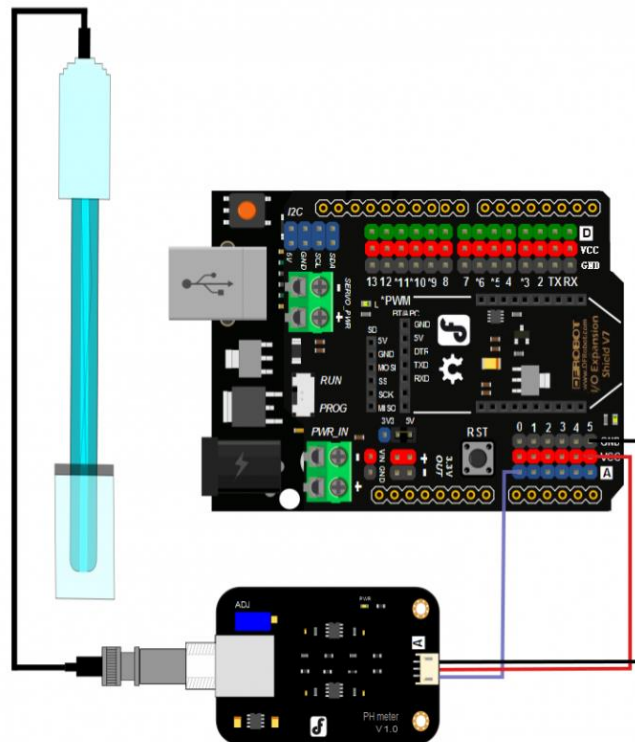


Figura 19 - Sensor de pH – SEN0161

Fonte: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH\\_meter\(SKU:\\_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)) (2019)



### 3.4. Dispositivos Acessórios

#### 3.4.1. Sensor Shield Mega

Desenvolvida para ser acoplada ao Arduino Mega, essa Shield ou placa de expansão (Figura 20), permite a interligação de múltiplos dispositivos ao Arduino sem a necessidade de uso de protoboard também conhecida como placa de prototipação.

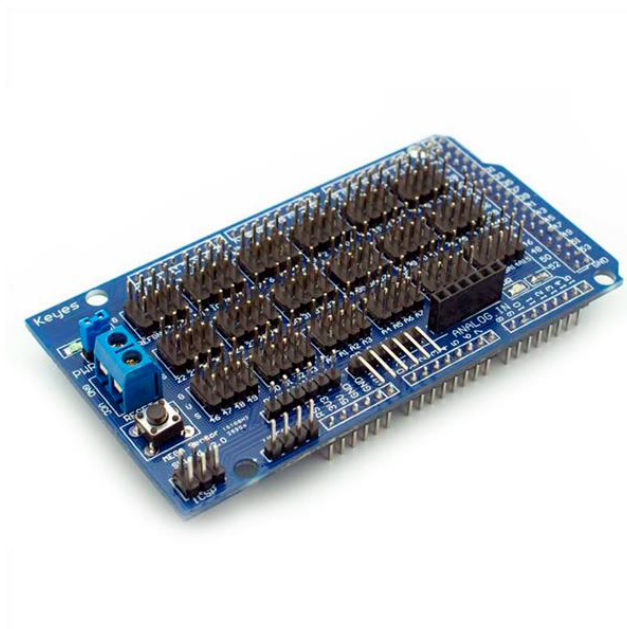


Figura 20 - Sensor Shield Mega

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/mega-sensor-shield-para-arduino/> (2018)

A figura 21 apresenta a placa sensor shield mega já encaixada na unidade microcontroladora arduino. Nota-se que a interconexão dos múltiplos dispositivos ao arduino é facilitada uma vez que para cada porta analógica ou digital, o shield já disponibilizar ao lado um pino de alimentação de corrente e um pino de terra.

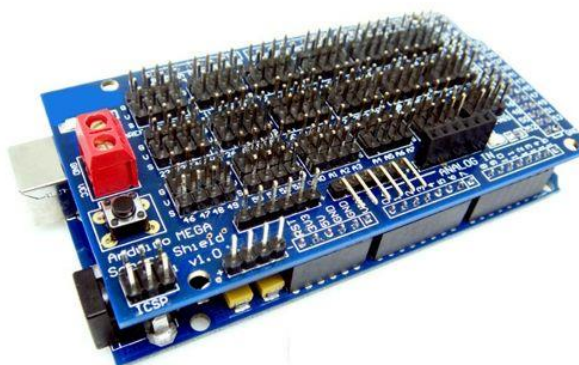


Figura 21 - Sensor Shield Mega acoplada ao Arduino Mega  
Fonte: <https://www.emartee.com/product/42016/> (2019)

Outra característica importante que se nota no sensor shield mega é a possibilidade de uma fonte de alimentação externa, caso o quantitativo de dispositivos interligados necessitem de maior tensão para o funcionamento conjunto.

### 3.4.2. Módulo cartão micro-SD

Este módulo (Figura 22) foi desenvolvido para criação de datalogger ou log de dados, permitindo o armazenamento em cartão micro-SD de informações coletadas a partir das diversas portas do Arduino.



Figura 22 - Módulo cartão micro-SD

Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/> (2018)

O módulo funciona com tensão de 3,3V, mas por possuir um regulador de tensão podem trabalhar diretamente nas portas 5V. A figura 23 apresenta o esquema necessário para interligação do módulo ao microcontrolador arduino.

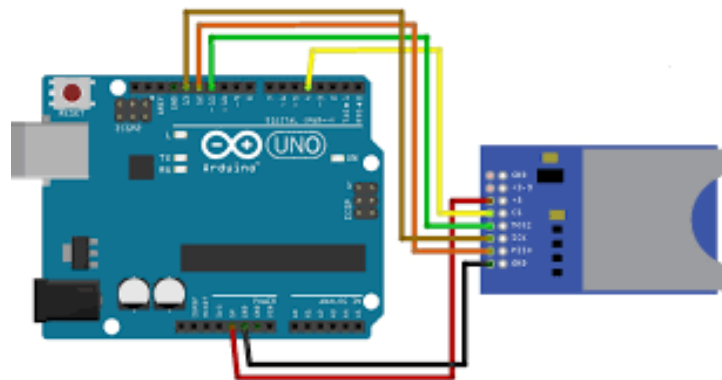


Figura 23 - Módulo cartão micro-SD

Fonte: <https://www.eletruscomp.com.br/blog/robotica> (2019)

### 3.4.3. Módulo GSM SIM800L

Este módulo compacto (Figura 24) foi desenvolvido para possibilitar a unidade microcontroladora fazer uso de diversos serviços da telefonia móvel, para isso é necessário o uso de um cartão SIM com uma linha ativa. Como parte da pesquisa, pretende-se fazer a transmissão dos dados coletados entre dispositivos remotos por meio do serviço de texto SMS, este módulo foi escolhido pelo tamanho, consumo de energia e eficiência no desempenho das atividades.



Figura 24 - Módulo GSM SIM800L

Fonte: <http://www.circuitblocksph.com/openerp.wsgi/shop/product/gsm-gprs-sim800l-module-quadband-132> (2018)

A figura 25 apresenta o esquema de ligação do módulo GSM SIM800L a unidade microcontroladora. Devido a necessidade de energia suficiente para os momentos de transmissão de dados por meio da rede de telefonia móvel, o fabricante orienta uma fonte de alimentação externa ao arduino. Conforme esquema apresentado a fonte deve possuir tensão de 5V e amperagem de 2A. A adoção de fonte externa de alimentação de energia visa evitar a sobrecarga do microcontrolador, o que pode levar a desligamentos indesejáveis da solução ou até mesmo danos à componentes das placas.

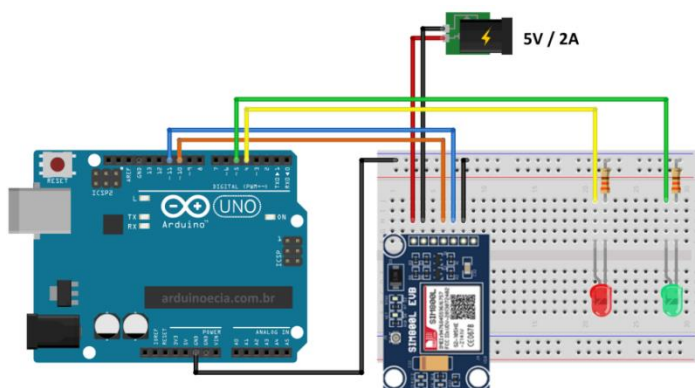


Figura 25 - Módulo GSM SIM800L

Fonte: <https://www.arduinoocia.com.br/2017/06/controle-arduino-sms-modulo-gsm-sim800l.html> (2019)

#### 3.4.4. Alimentação de Energia

Bateria de lítio com capacidade de 8,000 mAh, com acabamento emborrachado, possui duas portas USB de saída, uma 1A e outra 2,1A. A alimentação da bateria pode ser feita pela porta usb 5V/1A ou por meio da exposição ao sol. No projeto foram utilizadas duas bateria externa de alimentação 5v. Uma destinada apenas ao módulo GSM SIM800L devido ao alto consumo de energia durante a transmissão dos dados, e a outra para alimentação do Arduino, sensores acoplados e demais acessórios. A Figura 26 apresenta a bateria utilizada no processo.



Figura 26 - Bateria Externa

Fonte: <https://www.selcany.com/product/waterproof-solar-power-bank/> (2018)

#### 3.4.5. Display de Cristal Líquido

Dispositivo de saída de dados, a tela LCD (Liquid Cristal Display) também chamado de LCD 16x2 possui 16 colunas por 2 linhas, o que possibilita a interface homem máquina por meio de mensagens. Este dispositivo possui backlight de cor azul e caracteres brancos permitindo a leitura das informações mesmo em ambientes com pouca luminosidade. A figura 27 apresenta o display.



Figura 27 - Display LCD 16x2 I2C

Fonte: <https://uae.souq.com/ae-en/arduino-raspberry-pi-16x2-lcd-module-with-iic-i2c-serial-adapter-8369629/i/> (2019)

Opera com tensão de 5V e possui interface I2C integrado, o que diminui de 16 conexões que são necessárias no display para o uso de apenas 4 conexões da interface I2C, liberando portas no microcontrolador. A figura 28 apresenta o esquema de interligação.

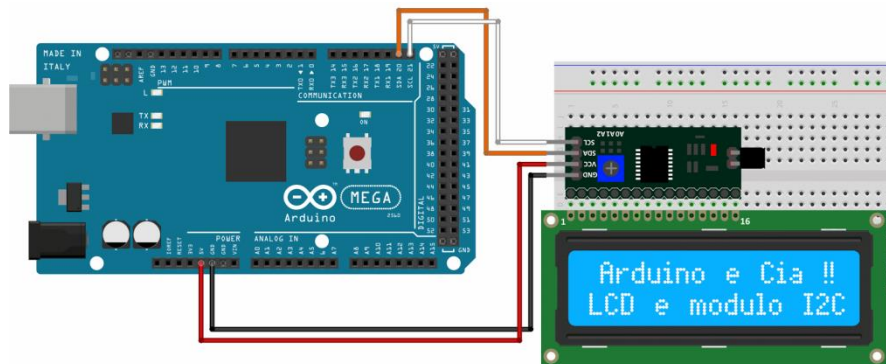


Figura 28 - Esquema de ligação do display LCD 16x2 I2C

Fonte: <https://www.arduinoocia.com.br/2014/12/modulo-i2c-display-16x2-arduino.html> (2019)

## 5. RESULTADOS

Para melhor compreensão dos resultados alcançados este tópico foi dividido em duas etapas. A prototipação da sonda apresentando o esquema de interligação do dispositivo, bem como, suas conexões individuais garantindo a possibilidade de replicação da pesquisa. Na segunda etapa encontra-se o diagrama de funcionamento do software controlador da sonda Polypus e suas principais estruturas de codificação.

### 4.1. Prototipação da Sonda Multiparâmetro

Prototipação é uma possibilidade de tornar uma hipótese em algo material e assim poder testar seus funcionamentos e resultados a fim de comprovar eficiência e confiabilidade da pesquisa proposta.

Com a definição da plataforma microcontroladora Arduino Mega como base para interconexão de sensores (pH, TDS, EC, Salinidade, OD e Temperatura) e demais dispositivos que possibilitassem a criação do protótipo da sonda multiparâmetros de análise de águas superficiais, foi desenvolvida a solução Polypus (Figura 29).



Figura 29 – Protótipo Polypus  
Autor: Cunha (2018)

O nome Polypus vem do latim e significa polvo. O nome foi escolhido pela semelhança entre a unidade central e seus sensores com o animal encontrado na natureza.

A placa sensor shield mega foi utilizada a fim de evitar o uso de placa protoboard também conhecida como placa de prototipação. Uma vez acoplada ao arduino mega, a placa sensor shield possibilita o uso das diversas portas disponíveis na unidade microcontroladora de forma organizada, uma vez que na sua estrutura física para cada porta analógica ou digital

a placa shield possui um pino de alimentação e outro de aterramento. Para além disso possui também em sua estrutura física portas de conexão rápidas para dispositivos como SD card, bluetooth e outros. Para o projeto Polypus a interface utilizada foi a do SD card. Na figura 30 apresenta-se a placa sensor shield mega destacando suas características utilizadas no presente estudo.

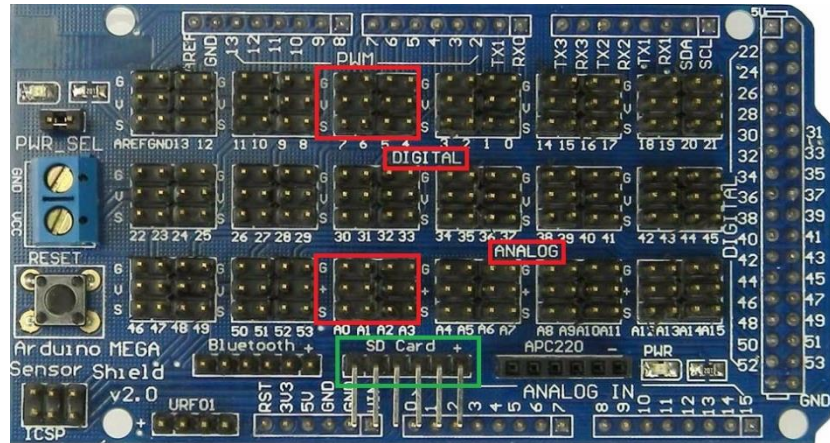


Figura 30 - Destaque na Placa Sensor Shield Mega

Fonte: <https://www.mpja.com/ShowAdditionalImg.asp?number=31060%20MP&itempic=31060-2.jpg&picnum=3>

Verifica-se na figura 30, na região em vermelho, que para cada porta da unidade microcontroladora esse sensor shield apresenta três pinos identificados com G, V e S que são abreviações respectivamente de GND (terra), VCC(energia) e Signal (sinal). Isso facilita o processo de interligação dos diversos sensores e dispositivos, além de organizar melhor o cabeamento necessário para alimentação e comunicação de dados. O destaque em verde apresenta uma interface de conexão para o módulo SD card, que tem por objetivo centralizar o conjunto de fios necessários para seu funcionamento.

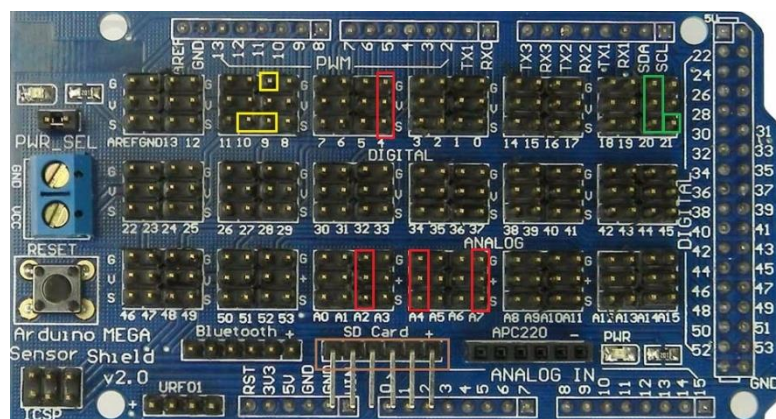


Figura 31 - Portas utilizadas no projeto Polypus

Fonte: Adaptação Cunha (2019)

A figura 31 apresenta as portas utilizadas no protótipo Polypus, sendo assim utilizadas:

- A porta, em vermelho, digital 4 recebeu o sensor de temperatura;
- A porta, em vermelho, analógica A2 recebeu o sensor de Sólidos Totais Dissolvidos;
- A porta, em vermelho, analógica A4 recebeu o sensor de Oxigênio Dissolvido;
- A porta, em vermelho, analógica A7 recebeu o sensor de pH;
- As portas, em verde, digital 20 (SDA) e 21 (SCL) foram utilizadas para interligação do visor de Lcd 16x2 I2C;
- As portas, em amarelo, Digital 9 e 10 foram utilizadas para comunicação com o módulo SIM800L;
- A interface, em marrom, SD Card foi utilizada para interligação com módulo datalogger.

A seguir apresenta-se como cada um dos componentes do protótipo foi interligado a sensor shield mega e consequentemente a unidade microcontroladora. A figura 32 apresenta o esquema de ligação do sensor shield mega com o módulo cartão SD Card para fins de armazenamento das informações coletadas.

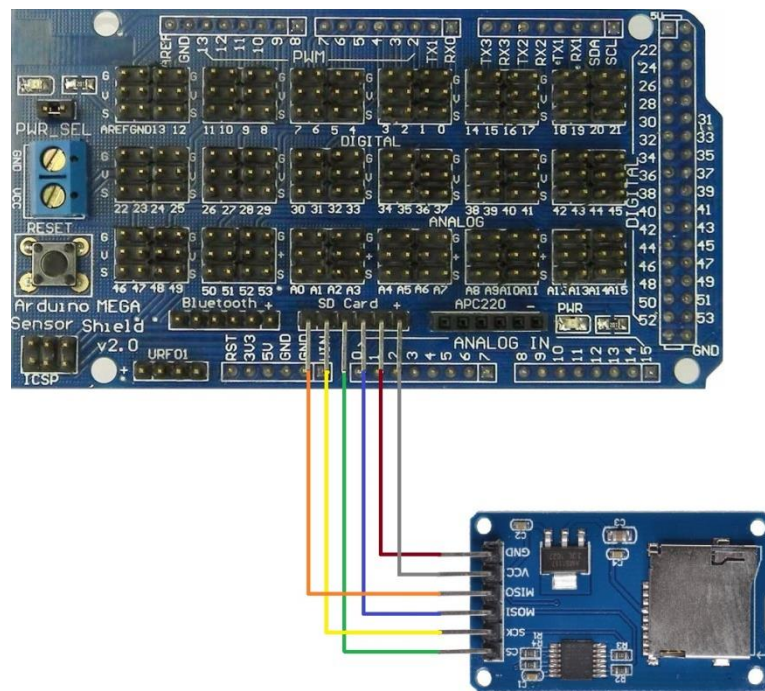


Figura 32 - Interligação do módulo SD Card no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

A figura 33 apresenta o esquema de ligação do sensor shield mega com o visor Lcd 16x2 I2C, permitindo uma comunicação direta com o usuário do protótipo.



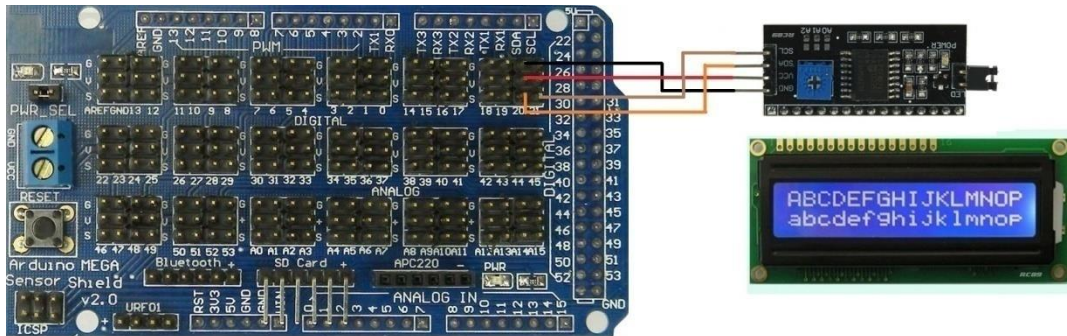


Figura 33 - Interligação do visor LCD I2C no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

O sistema de transmissão de dados por meio de SMS adotado no projeto foi o módulo SIM800L. Durante o processo de envio dos dados foi identificado que o módulo demandava muita energia, tornando o sistema instável e algumas vezes reiniciando o protótipo. Como solução, foi adotado o uso de uma alimentação de energia exclusiva para o módulo SIM800L e outra para dos demais componentes.

A figura 34 apresenta o esquema de ligação do sensor shield mega com módulo SIM800L.

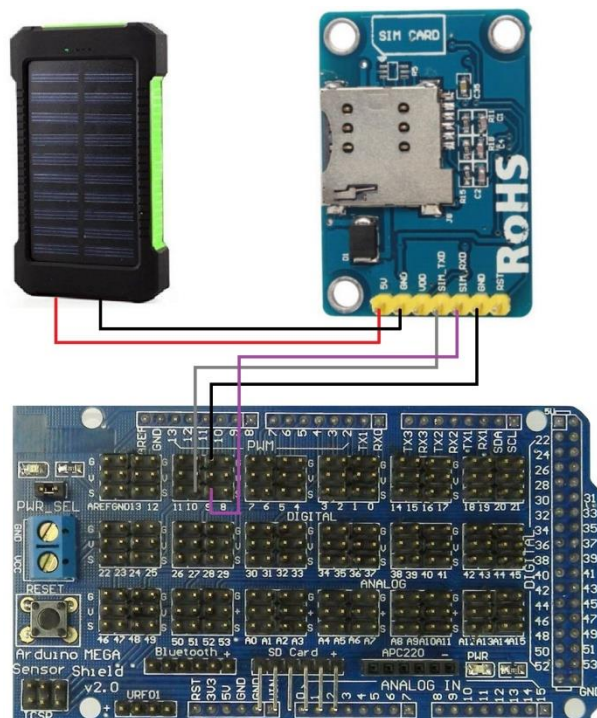


Figura 34 - Interligação do módulo SIM800L no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

Abaixo apresenta-se a interligação dos sensores utilizados no protótipo à placa sensor shield mega. A figura 35 apresenta o esquema de ligação do sensor shield mega com o sensor de temperatura por meio da porta digital 4.

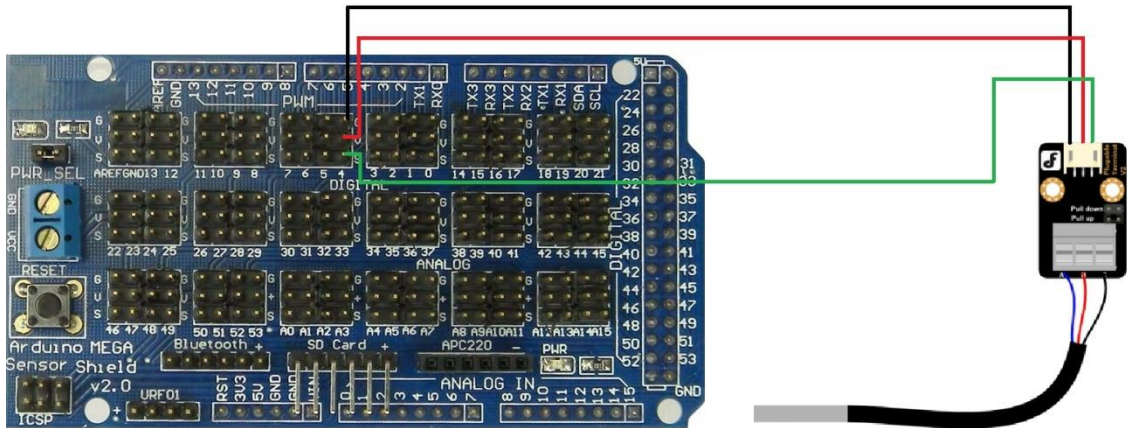


Figura 35 - Interligação do sensor de temperatura no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

Em todos os sensores pode-se verificar a existência de um fio ligado ao pino S (Signal) da shield mega e outros dois responsáveis pela alimentação de energia e aterramento do sensor. É por meio do pino S que os dados são coletados.

A figura 36 apresenta o esquema de ligação do sensor shield mega com o sensor de Sólidos Totais Dissolvidos por meio da porta analógica A2.

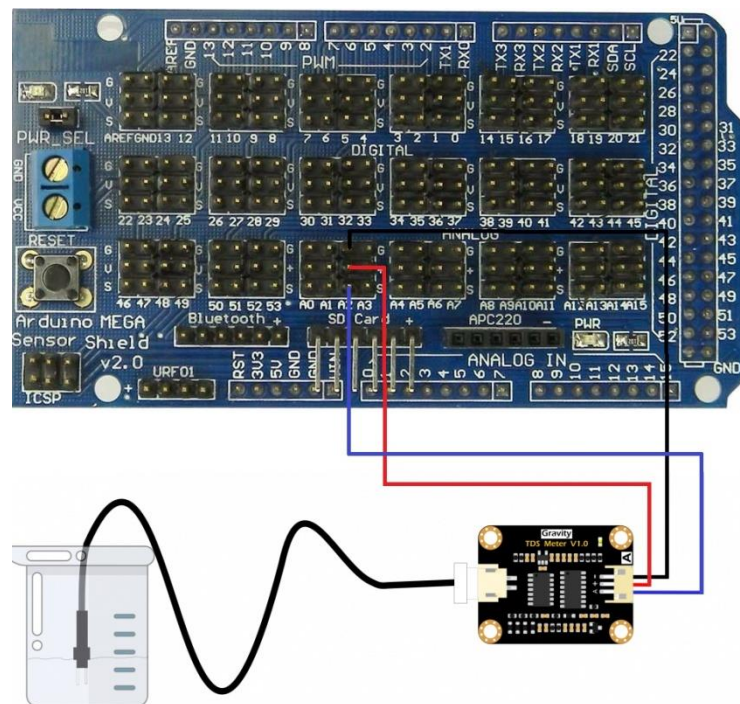


Figura 36 - Interligação do sensor de TDS no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

Na conexão do sensor de Oxigênio Dissolvido foi utilizada a porta analógica A4 do sensor shield mega, conforme apresentado na figura 37.

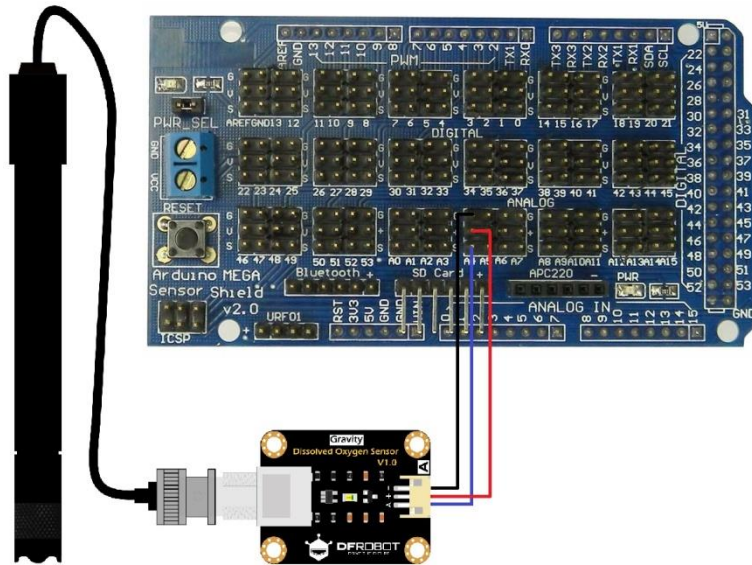


Figura 37 - Interligação do sensor de OD no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

A figura 38 apresenta o esquema de ligação do sensor de pH com a placa shield mega por meio da porta analógica A7.

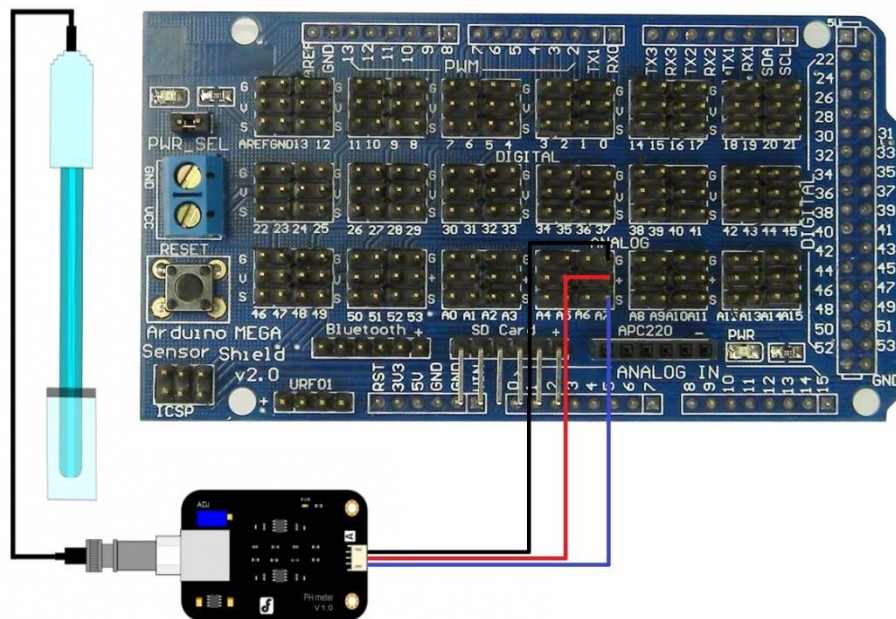


Figura 38 - Interligação do sensor de ph no sensor shield mega  
Fonte: Adaptação Cunha (2019)

Por se tratar de componentes eletrônicos e da sua total incompatibilidade com meios aquáticos, todos os componentes foram acomodados em uma caixa hermética, resistente a água com dimensões de 12cm x 30cm x 22cm (A x L x P). (figura 39).



Figura 39 - Caixa Hermética Steck

Fonte: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-688782286-caixa-ligth-sex-322-300x220x120mm-ip-55-steck-\\_JM?quantity=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-688782286-caixa-ligth-sex-322-300x220x120mm-ip-55-steck-_JM?quantity=1). Acesso em 10 de janeiro de 2019.

Com objetivo de ligar e desligar a sonda Polypus e o módulo SIM800L de transmissão de dados, para cada bateria utilizada no projeto, foi utilizado um botão do tipo liga desliga, possibilitando a coleta e visualização dos dados no visor Lcd sem a transmissão dos mesmos. A figura 40 mostra o modelo utilizado.



Figura 40 - Botão liga desliga utilizado no protótipo

Fonte: <https://www.bazareficaz.com.br/botao-chave-gangorra-liga-desliga-2-polos-preto-100-pecas>. Acesso em 10 de janeiro de 2019.

Para passagem dos cabos dos probes até as placas controladoras dos sensores foi necessário fazer um furo na estrutura da caixa hermética para cada um deles, totalizando quatro. Na tentativa de manter a característica hermética da caixa e promover a vedação dos furos foram utilizadas peças conhecidas como prensa cabos (figura 41). Os furos dos sensores e utilização dos prensa cabos foram feitos na parte inferior da caixa.



Figura 41 - Prensa Cabos

Fonte: <http://mesindustrial.com.br/prensa-cabos/>. Acesso em 10 de janeiro de 2019.

Os demais cortes necessários para os botões liga desliga, visor Lcd 16x2 e antena do módulo SIM800L foram feitos por meio de cortes específicos na caixa hermética e vedados, quando necessário, com silicone.

A figura 42 apresenta o esquema de interligação de todos os componentes envolvidos no projeto para criação da sonda Polypus.

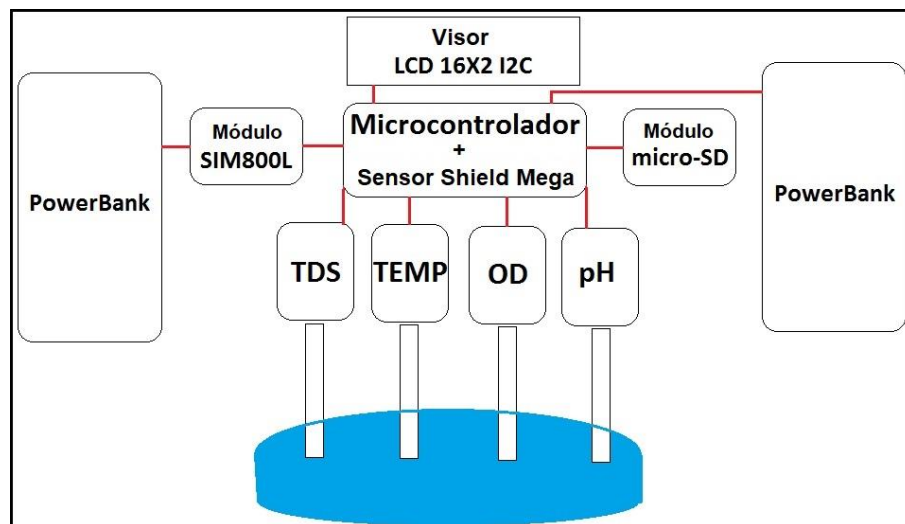


Figura 42 - Esquema de interligação da sonda Polypus

Fonte: Cunha (2019)

#### 4.2. Desenvolvimento de Software

Objetivando dar funcionalidade a todos os componentes a etapa de desenvolvimento de software foi iniciada por meio da interface IDE Arduino (Figura 43). A sigla IDE vem de Integrated Development Environment ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado e é um programa de apoio a criação de código fonte a partir da linguagem de programação nativa, que uma vez compilado e carregado na unidade microcontroladora estabelece as rotinas

desejadas, no caso da sonda Polypus rotinas de de leitura, armazenamento e transmissão dos dados foram desenvolvidas.

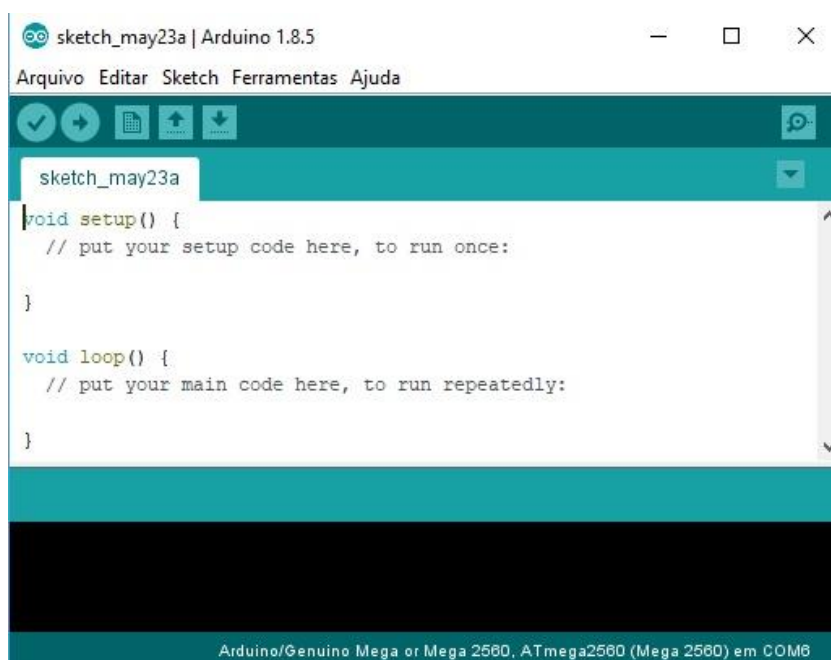


Figura 43 - Ambiente de Desenvolvimento do Arduino  
Fonte: Cunha (2019)

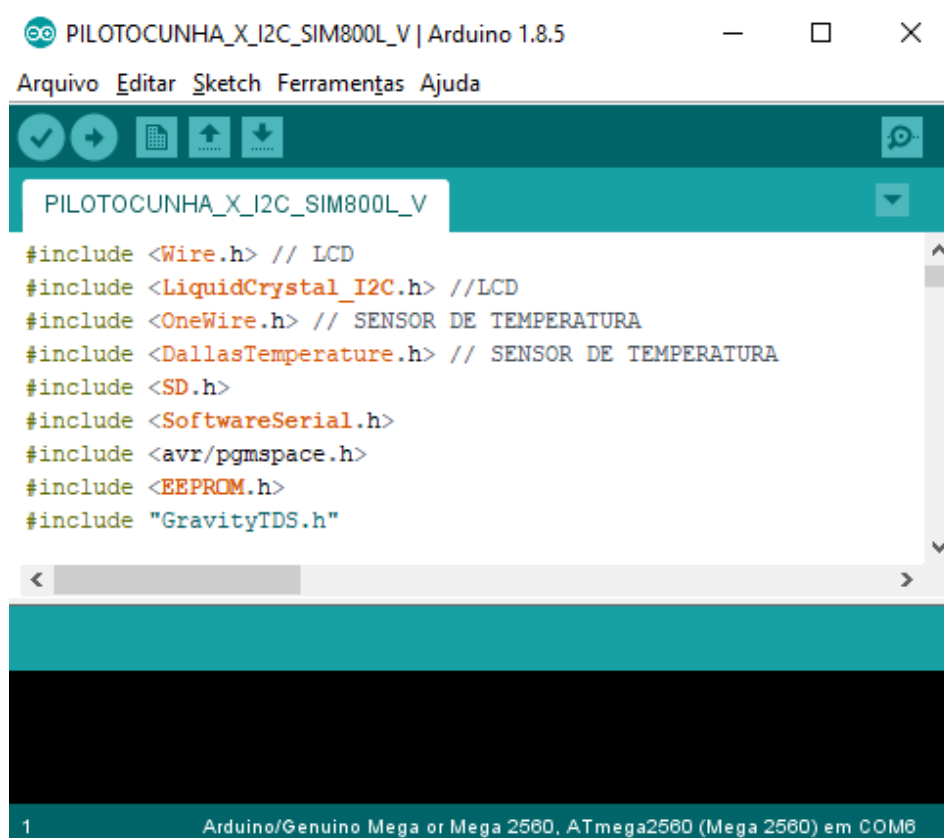
Os códigos fonte criados na IDE arduino possuem basicamente duas estruturas principais a serem desenvolvidas: o SETUP e o LOOP.

A função SETUP é obrigatória e responsável pela configuração de todas os pinos que pretende-se usar no arduino, esta função é executada apenas uma vez ao iniciar o sistema, nesta função o visor Lcd é iniciado, a velocidade de comunicação serial é definida, que os pinos digitais são definidos como de entrada ou saída, as portas a serem usadas por cada sensor são definidas, o arquivo datalogger é criado, dentre outras.

Já a função LOOP é responsável por todas as rotinas que serão repetidas durante o funcionamento do protótipo, nela define-se como e quando os dispositivos deverão operar. Toda lógica de programação que define em que momento os dados serão coletados, o acionamento de cada sensor para leitura das informações, o acionamento do módulo SD card para recebimento e gravação dos dados e o acionamento do módulo SIM800L para envio das informações por SMS são exemplos de rotinas que se repetem constantemente na função LOOP durante o funcionamento do protótipo.

A IDE arduino ainda permite que sejam incorporadas as bibliotecas dos componentes utilizados. Biblioteca é um código previamente escrito para facilitar o desenvolvimento de aplicações, algumas são nativas da linguagem outras muitas vezes são escritas pelo próprio fabricante do dispositivo e podem ser utilizadas a partir da inserção das mesmas no código

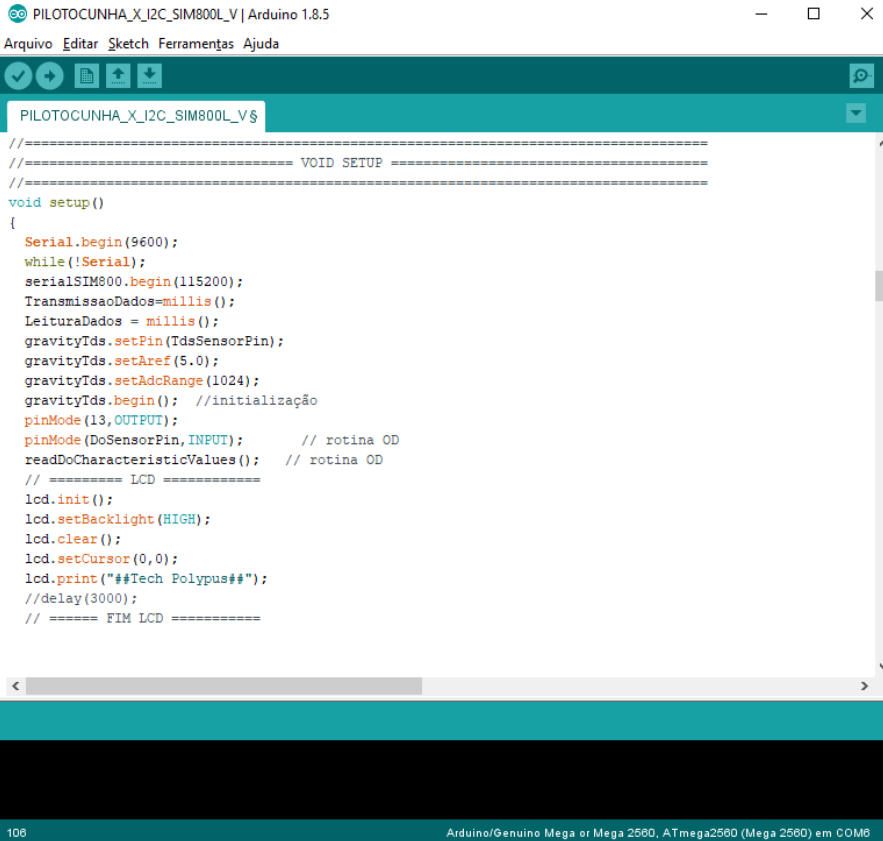
fonte criado, sempre acima da função SETUP. A Figura 44 apresenta as bibliotecas usadas no projeto Polypus.



```
PILOTOCUNHA_X_I2C_SIM800L_V | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
PILOTOCUNHA_X_I2C_SIM800L_V
#include <Wire.h> // LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //LCD
#include <OneWire.h> // SENSOR DE TEMPERATURA
#include <DallasTemperature.h> // SENSOR DE TEMPERATURA
#include <SD.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"
1 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) em COM8
```

Figura 44 - Conjunto de bibliotecas usadas no protótipo Polypus  
Fonte: Cunha (2019)

O código fonte desenvolvido para o protótipo Polypus teve como referência os códigos disponibilizados pelo fabricante para seus sensores bem como pelos demais fabricantes dos componentes utilizados no projeto. Abaixo nas figuras 45 e 46 são apresentadas parte das rotinas de SETUP e LOOP.



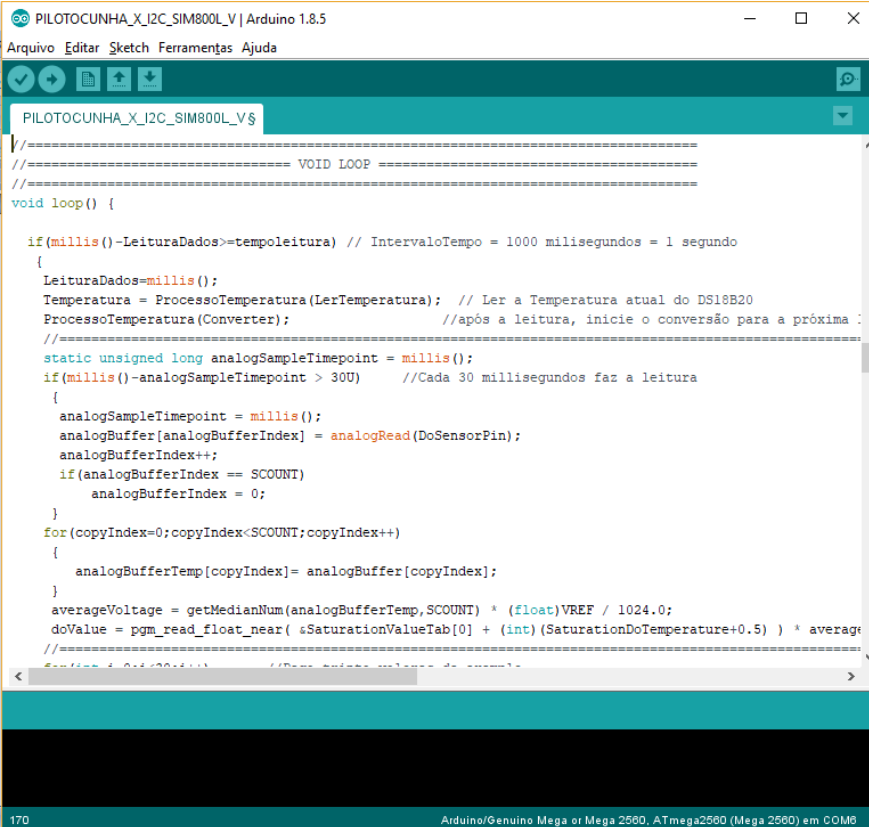
```

PILOTOCUNHA_X_I2C_SIM800L_V$
//===== VOID SETUP =====
//=====
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  while(!Serial);
  serialSIM800.begin(115200);
  TransmissaoDados=millis();
  LeituraDados = millis();
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0);
  gravityTds.setAdcRange(1024);
  gravityTds.begin(); //inicialização
  pinMode(13,OUTPUT);
  pinMode(DoSensorPin,INPUT); // rotina OD
  readDoCharacteristicValues(); // rotina OD
  // ===== LCD =====
  lcd.init();
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("##Tech Polypus##");
  //delay(3000);
  // ===== FIM LCD =====
}

```

106 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) em COM6

Figura 45 - Início da rotina SETUP do código fonte do protótipo  
Fonte: Cunha (2019)



```

PILOTOCUNHA_X_I2C_SIM800L_V$
//===== VOID LOOP =====
//=====
void loop() {
  if(millis()-LeituraDados>=tempoleitura) // IntervaloTempo = 1000 milisegundos = 1 segundo
  {
    LeituraDados=millis();
    Temperatura = ProcessoTemperatura(LerTemperatura); // Ler a Temperatura atual do DS18B20
    ProcessoTemperatura(Converter); //após a leitura, inicie o conversão para a próxima :
    //=====
    static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
    if(millis()-analogSampleTimepoint > 300) //Cada 30 milisegundos faz a leitura
    {
      analogSampleTimepoint = millis();
      analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(DoSensorPin);
      analogBufferIndex++;
      if(analogBufferIndex == SCOUNT)
        analogBufferIndex = 0;
    }
    for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT;copyIndex++)
    {
      analogBufferTemp[copyIndex]= analogBuffer[copyIndex];
    }
    averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, SCOUNT) * (float)VREF / 1024.0;
    doValue = pgm_read_float_near( &SaturationValueTab[0] + (int)(SaturationDoTemperature+0.5) ) * average
    //=====
  }
}

```

170 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) em COM6

Figura 46 - Início da rotina LOOP do código fonte do protótipo  
Fonte: Cunha (2019)



Um diagrama de blocos com as principais rotinas desenvolvidas e o fluxo das informações da sonda Polypus é detalhado na figura 47.

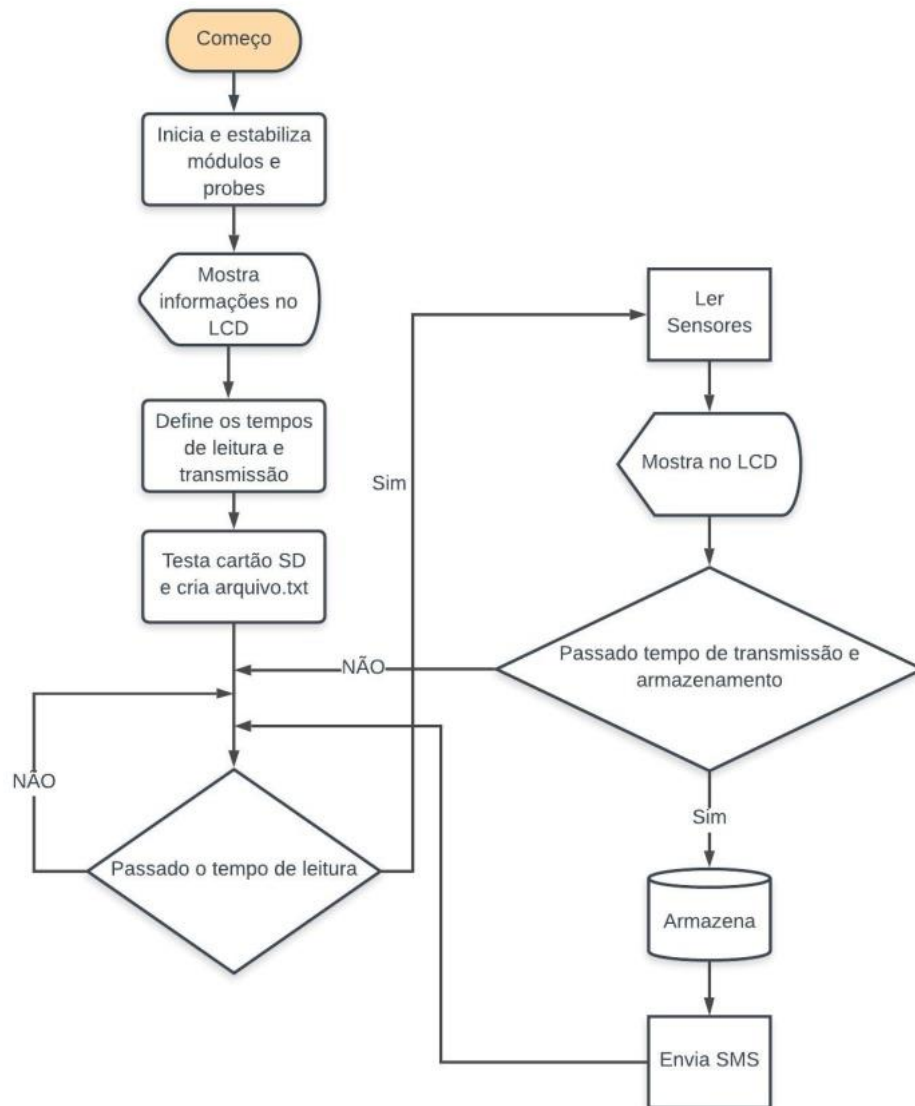


Figura 47 - Diagrama de bloco do funcionamento da sonda Polypus  
Fonte: Cunha (2019)

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. O Experimento

Finalizada a etapa de prototipação e programação da sonda Polypus iniciaram-se as etapas de testes do dispositivo por meio das análises das amostras das águas em bancada, possibilitando a leitura dos parâmetros, seu armazenamento e transmissão de dados.

Pesquisas encontradas que envolvem o desenvolvimento de protótipos para mensuração de parâmetros de corpos hídricos não apresentaram quaisquer análises comparativas para validação dos dados, Faustine et al. (2014) em sua pesquisa apresenta um protótipo desenvolvido em plataforma arduino com sensores de baixo custo, entretanto a pesquisa apenas apresenta os dados coletados, assim como a pesquisa de Raut et al. (2016) e Vijayakumar et al. (2015). A pesquisa de Lima (2011) apresenta as curvas de monitoramento de temperatura, condutividade e pH ao longo de 10 horas a partir de dados coletados e transmitidos pelo dispositivo desenvolvido. Nota-se na conclusão da pesquisa afirmações quanto a estabilidade na transmissão remota, baixo ruído, portabilidade, baixo custo e possibilidade de monitoramento, entretanto não é apresentada a validação das informações coletadas.

Nesta pesquisa tentou-se definir a confiabilidade no protótipo Polypus e conseqüente validação dos resultados por meio da literatura sobre o tema e pela utilização de equipamentos comercializados no mercado profissional como referenciais aos valores lidos. Os laboratórios do IFBA Campus Porto Seguro possuem equipamentos para mensuração de parâmetros físico-químicos de corpos hídricos e sua utilização serviu como referencial fundamental para validação dos resultados da pesquisa.

Os processos de análises foram realizados por meio da sonda multiparâmetro Hanna HI 9828, equipamento pertencente ao IFBA, e da sonda Polypus desenvolvida no decorrer desta pesquisa em plataforma microcontroladora arduino. Ao utilizar a sonda multiparâmetro Hanna 9828 como um equipamento norteador/validador das medidas obtidas com a sonda Polypus projetou-se verificar se as medidas obtidas por um protótipo e candidato às mesmas finalidades "acompanhariam", ou não, um equipamento profissional, consolidado e já comercializado para as demandas ambientais. Contudo, faz-se necessário considerar que apesar das duas sondas em questão serem utilizadas para a mensurar a mesma grandezas, elas

possuem características físicas e estruturais diferentes, como composição dos materiais, dimensões dos sensores, limites de detecção e precisão por exemplo.

A figura 48 apresenta a atividade de leitura de parâmetros nas amostras, as leituras foram realizadas em bancada do laboratório de química do IFBA. A amostra inserida no becker plástico foi lida simultaneamente pelas duas sondas e seus dados armazenados para futura validação. Nota-se ainda na figura 48 o uso de um agitador magnético com objetivo de simular a movimentação natural dos corpos hídricos. As amostras utilizadas foram coletadas junto a Embasa, ao Rio Mundaí e ao Rio Buranhém.

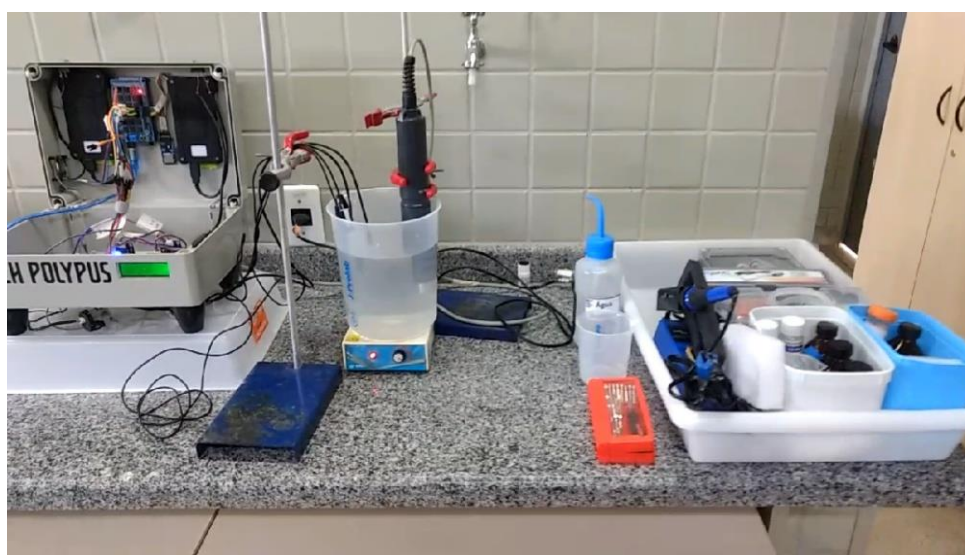


Figura 48 – Foto da análise comparativa de amostra entre sondas em laboratório  
Fonte: Cunha (2018)

## 5.2. Dados obtidos

Para uma análise válida dos parâmetros lidos as sondas foram devidamente calibradas conforme orientações dos fabricantes e se faz necessário aqui ressaltar a estabilidade de ambas as sondas no processo de calibragem, seja por meio de soluções padrões também chamadas de soluções tampão ou por outro meio definido pelo fabricante.

Outro fator fundamental para uma análise válida dos resultados é conhecer a precisão de cada um dos sensores. A precisão pode ser entendida como o grau de variação aceitável dos resultados em uma medição. A tabela 07 apresenta as informações sobre precisão disponibilizadas pelos fabricantes da sonda Hanna e da Dfrobot, extraídos respectivamente do manual do equipamento e do site oficial. Diante dos dados apresentados na tabela 07 pôde-se verificar de imediato que para todos os parâmetros avaliados os sensores da sonda Hanna possuem maior precisão na leitura dos dados.

Sonda Polypus		Sonda Hanna	
Unidade	Precisão	Unidade	Precisão
EC ms cm <sup>-1</sup>	±10%	EC ms cm <sup>-1</sup>	±1%
TDS PPM	±10%	TDS PPM	±1%
SAL ‰	±10%	SAL ‰	±2%
OD mg L <sup>-1</sup>	±10%	OD mg L <sup>-1</sup>	±2%
pH	±0,1	pH	±0,02
Temp. °C	±0,5	Temp. °C	±0,15

Tabela 8 - Precisão dos sensores pelos fabricantes  
Fonte: Cunha (2019)

Para fins de análise dos dados coletados foram executadas dois tipos de validações, uma de curta duração, onde as sondas são inseridas nas amostras e são consideradas as primeiras leituras para comparação dos equipamentos e outra de longa duração, que visa demonstrar a estabilidade da sonda em períodos maiores de coleta.

### 5.2.1. Validação de Curta Duração

Inicialmente foi feita uma análise de curta duração dos parâmetros físico-químicos presentes em duas amostras: uma amostra do Rio Mundaí e outra amostra da Embasa, coletada no próprio Campus. As sondas foram inseridas simultaneamente na amostra da Embasa e os dados lidos imediatamente. Encerrada a leitura dos múltiplos parâmetros, pelas duas sondas, observou-se no que se refere aos valores lidos uma similaridade a partir das faixas de precisão dos sensores de ambos fabricantes. Na tabela 8 estão registrados os valores coletados por ambas as sondas em amostra da Embasa.

Amostra da Embasa	Unidade	Polypus			Hanna		
		Min	Dado	Max	Min	Dado	Max
EC	ms cm <sup>-1</sup>	0,108	0,120	0,132	0,129	0,130	0,131
TDS	PPM	54	60	66	65,34	66,00	66,66
SALINIDADE	‰	0,045	0,050	0,055	0,059	0,060	0,061
OD	mg L <sup>-1</sup>	4,95	5,49	6,04	5,88	5,97	6,06
pH	pH	6,33	6,43	6,53	6,64	6,66	6,68
TEMPERATURA	°C	23,75	24,25	24,75	24,79	24,94	25,09

Tabela 9 - Dados obtidos em amostra da Embasa com mínimo e máximo da faixa de precisão  
Fonte: Cunha (2019)

Seguindo a mesma metodologia de leitura simultânea pelas sondas dessa vez em amostra do Rio Mundaí, nota-se na tabela 9 que apesar da mudança do meio analisado os dados apresentam similaridade de valores a partir das faixas de precisão dos sensores.

Amostra do Rio Mundaí	Unidade	Polypus			Hanna		
		Min	Dado	Max	Min	Dado	Max
EC	ms cm <sup>-1</sup>	0,243	0,270	0,297	0,248	0,250	0,253
TDS	PPM	126	140	154	121	122	123
SALINIDADE	‰	0,099	0,110	0,121	0,108	0,110	0,112
OD	mg L <sup>-1</sup>	3,89	4,32	4,75	4,52	4,59	4,66
pH	pH	6,66	6,76	6,86	6,64	6,66	6,68
TEMPERATURA	°C	26,12	26,62	27,12	27,17	27,32	27,47

Tabela 10 - Dados obtidos em amostra do Rio Mundaí com mínimo e máximo da faixa de precisão

Fonte: Cunha (2019)

Convertendo em gráficos os valores apresentados nas tabelas 8 e 9 das validações de curta duração, pretende-se dar melhor compreensão aos resultados alcançados.

Nota-se na figura 49 que inserida as faixas de precisão dos sensores nas leituras encontradas em ambas as amostras, os dados se correlacionaram entre suas faixas de valores válidos. Apesar de algumas distorções, essas não representam valores significativos que comprometam a validação do protótipo em comparação a sonda Hanna, pois como Santos (2011) aborda em seu trabalho, a arquitetura do aparelho (dimensões e formas de organização dos módulos), a calibração, a estrutura física e as características dos sensores (acurácia, resolução, limites de detecção, etc.) podem influenciar no resultado.

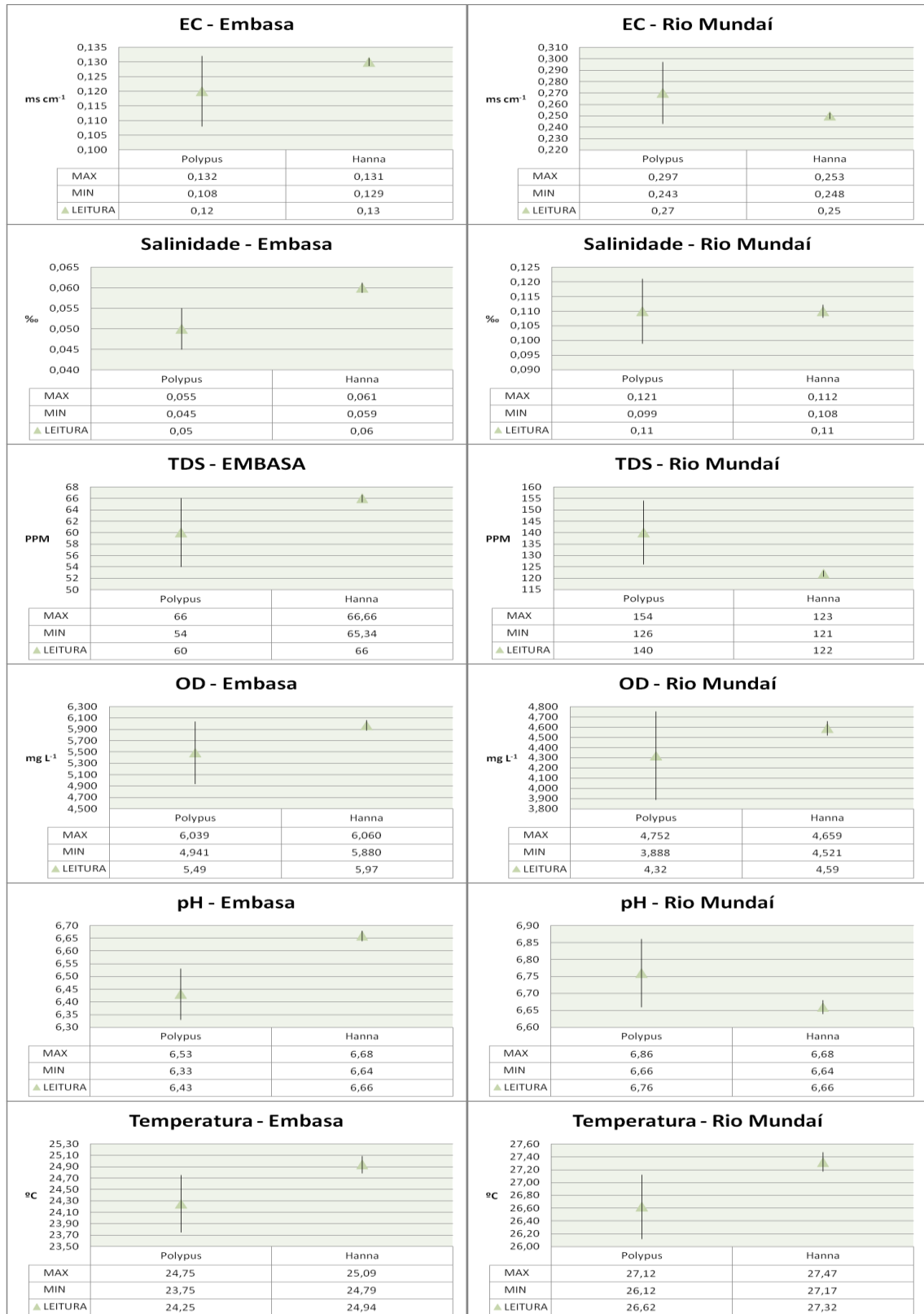


Figura 49 – Gráficos das validações de curta duração com limite de precisão definido pelo Fabricante

Fonte: Cunha (2019)

### 5.2.2. Validação de Longa Duração

Com objetivo de analisar o comportamento das sondas em períodos maiores de coleta de dados, uma leitura de longa duração com intervalos de cinco minutos foi realizada numa amostra do rio Mundaí e gerou a tabela 10 abaixo.

SONDA		HANNA						POLYPUS					
hh:mm	ID	EC	TDS	SAL	OD	PH	TEMP	EC	TDS	SAL	OD	PH	TEMP
		ms cm <sup>-1</sup>	ppm	‰	mg L <sup>-1</sup>		°C	ms cm <sup>-1</sup>	ppm	‰	mg L <sup>-1</sup>		°C
09:30	1	0,24	122	0,11	4,59	6,66	27,32	0,27	140	0,11	4,32	6,76	26,62
09:35	2	0,25	123	0,12	4,94	6,62	27,38	0,27	140	0,11	4,09	6,77	26,69
09:40	3	0,25	123	0,12	4,85	6,60	27,43	0,27	139	0,11	4,11	6,78	26,75
09:45	4	0,25	123	0,12	5,01	6,58	27,48	0,27	139	0,11	4,11	6,77	26,81
09:50	5	0,25	123	0,12	4,57	6,57	27,55	0,27	139	0,11	4,11	6,75	26,87
09:55	6	0,25	123	0,11	5,07	6,57	27,63	0,27	139	0,11	4,09	6,79	26,94
10:00	7	0,25	123	0,11	4,95	6,57	27,69	0,27	139	0,11	4,09	6,80	27,00
10:05	8	0,25	122	0,11	4,80	6,57	27,76	0,27	140	0,11	4,04	6,79	27,12
10:10	9	0,25	123	0,12	4,85	6,57	27,84	0,27	138	0,11	4,00	6,80	27,19
10:15	10	0,25	122	0,11	4,85	6,57	27,89	0,27	138	0,11	4,01	6,76	27,19
10:30	11	0,25	123	0,12	4,93	6,58	27,97	0,27	138	0,11	4,00	6,79	27,31
10:35	12	0,25	123	0,11	5,21	6,60	28,07	0,27	138	0,11	4,01	6,81	27,37
10:40	13	0,25	123	0,11	4,87	6,59	28,09	0,27	140	0,11	4,06	6,83	27,44
10:45	14	0,25	123	0,11	4,85	6,58	28,16	0,27	137	0,11	4,06	6,80	27,50
10:50	15	0,25	123	0,11	5,14	6,58	28,21	0,27	139	0,11	4,00	6,83	27,56
10:55	16	0,25	123	0,12	4,55	6,6	28,28	0,27	139	0,11	4,19	6,79	27,56
11:00	17	0,25	123	0,12	4,35	6,60	28,34	0,27	137	0,11	4,19	6,80	27,69
11:05	18	0,25	123	0,11	4,9	6,59	28,44	0,26	139	0,11	4,14	6,79	27,75
11:10	19	0,25	123	0,11	5,00	6,59	28,51	0,26	137	0,11	4,11	6,83	27,87
11:15	20	0,25	123	0,11	5,06	6,59	28,57	0,27	138	0,11	4,11	6,83	27,87

Tabela 11 - Dados obtidos em amostra do rio Mundaí

Fonte: Cunha (2019)

Em comparação dos dados obtidos pelas sondas, avaliando-se individualmente os resultados obtidos pelas sondas, nota-se que, guardada as devidas peculiaridades, ambas as sondas apresentaram resultados tendendo a uma frequência de valores na forma unimodal ou bimodal para os parâmetros como EC, TDS e SAL, o que era de se esperar pois são grandezas inter-relacionadas, sendo que uma deriva da outra. Já, os sensores da temperatura, pH e o OD atuam de forma independente e o cálculo de seus valores também, logo não são caracterizados por uma repetição exata de valores. Os valores de cada parâmetro também se apresentam próximos, não variando abruptamente, um indicativo que nenhuma parte da amostra com

características específicas distintas estivesse se deslocando no momento do processo de amostragem. Logo, no intervalo de tempo amostral de 5 minutos têm-se essas variações de pequenas expressões nos resultados lidos, algo esperado e medido por meio da dispersão prevista pelo fabricante. Este é um fato importante, onde se mostra um indicativo que o protótipo seguiu uma tendência na apresentação de resultados análoga ao da sonda Hanna, porém seus valores estão dispersos um pouco para mais ou para menos, entretanto muito próximos.

Usando como referência ainda a tabela 10, transformando as informações em gráfico, é possível verificar algumas questões relevantes, vide figura 50 abaixo.

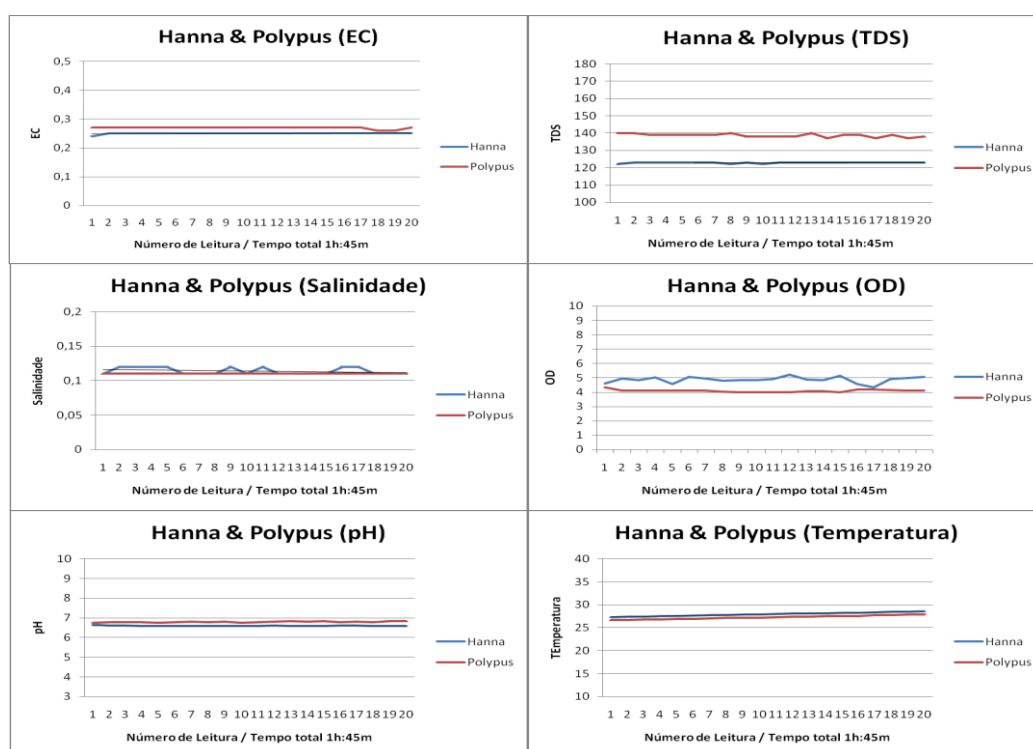


Figura 50 – Gráficos das Validações de longa duração - Amostra Rio Mundaí  
Fonte: Cunha (2019)

Na figura 50, comparativos de EC, TDS e SAL têm-se comportamento, como supracitado na análise da tabela 01, bastante regular. Ambas as sondas mostram comportamento gráfico nos resultados de uma função afim do tipo constante, dando a compreender que não houve muita alteração destas grandezas, apesar de representarem equipamentos diferentes. Ou seja, provavelmente os corpos captados em cada intervalo amostral tiveram praticamente as mesmas características para que estes valores se consolidassem desta forma. O valor de TDS foi o mais discrepante entre as sondas, mesmo assim esse valor foi de 15% da sonda Polypus acima do valor da sonda Hanna. Já em relação aos valores de EC e de SAL, principalmente, os valores chegam a ser idênticos em muitas leituras das amostras. Percebe-se que estas



grandezas estão relacionadas e seguem uma tendência na conservação de seus valores ao longo do tempo. A tabela 11 nos remete a valores médios de EC e SAL muito próximos para as sondas e com baixos coeficientes de variação.

<b>Média</b>	<b>EC</b>	<b>TDS</b>	<b>SAL</b>	<b>OD</b>	<b>PH</b>	<b>TEMP</b>
	ms cm <sup>-1</sup>	ppm	‰	mg L <sup>-1</sup>	-	°C
Hanna	0,25	123	0,11	4,87	6,59	27,93
Hanna (CV)	0,89	0,30	4,57	4,38	0,33	1,41
Polypus	0,27	139	0,11	4,10	6,79	27,26
Polypus (CV)	1,14	0,71	*	1,93	0,36	1,46

Tabela 12 - Média dos dados obtidos em amostra do rio Mundaí.

\* Não foi detectada variação no período

Fonte: Cunha (2019)

Os valores de OD são os que mais destoam entre as sondas, indo de 4% até 23%. Esta também foi a medida de maior distanciamento, quando trata-se de todos os resultados dos parâmetros analisados no rio Mundaí. Ressalta-se que os níveis de OD são influenciados por poluições antropogênicas, lançamento de resíduos industriais e esgoto doméstico principalmente. Logo, as sondas ficam susceptíveis a maiores variações para este parâmetro, e também para o pH, sendo que o gráfico de pH mostra essas variabilidades, ainda que de forma discreta, pois os valores médios na tabela 05 para os parâmetros OD e pH também estão próximos, 16% e 3%, respectivamente. A composição do corpo na amostra dá essa aleatoriedade com ausência de precisão das medidas. Reforça-se aqui que as características dos sensores podem também contribuir com esses resultados dispersos (SANTOS, 2011). Por exemplo, a sonda Hanna possui faixa de trabalho de 0 a 50 e a Polypus de 0 a 20 mg L<sup>-1</sup>, com dimensões de 101 mm x 16,5 mm e 42 mm x 32 mm, ou seja, a sonda Hanna para OD tem maior seção de diâmetro para aporte do volume para análise e maior faixa de trabalho e isto pode estar contribuindo no somatório para o resultado final, elevando o valor das medidas em comparação em até 24%, como mostra-se acima. Concomitantemente, analisando as possíveis influências na amostra, verificou-se que o Rio Mundaí está numa região de ação antrópica, muito próxima a construções urbanas e conseqüentemente susceptível a rejeitos orgânicos. Além disso, a análise deste parâmetro passa pela influência dos fatores externos como clima e vegetação.

No comparativo dos resultados do parâmetro temperatura, as sondas possuem a melhor linearidade quando leva-se em consideração todos os parâmetros estudados até então. Fato que explica porque o aumento da temperatura da água promove a variação da leitura de ambas

as sondas de forma linear. A interpretação dos resultados da sonda Hanna estarem ligeiramente acima da Polypus, no máximo cerca de 3%, se deve provavelmente aos componentes possuírem boa sensibilidade à transferência de calor, ou melhor, serem constituídos de materiais de calores específicos menores. Observa-se na tabela 11 valores das médias das temperaturas bem próximos para as sondas em questão.

Outra análise de longa duração foi realizada, mas dessa vez sem a comparação entre as sondas, o objetivo dessa análise era verificar a estabilidade da sonda Polypus em longas medições. Justifica-se aqui a análise isolada da sonda Polypus pelo fato de que os dados da sonda Hanna eram coletados manualmente, o que seria impossível pelo longo período de horas pela qual a leitura foi efetuada. Para isso foram feitas em amostra do rio Buranhém duzentas e cinquenta leituras dos parâmetros analisados em intervalos de cinco minutos. Abaixo as figuras 51, 52 e 53 apresentam os resultados coletados e armazenados pela sonda Polypus.

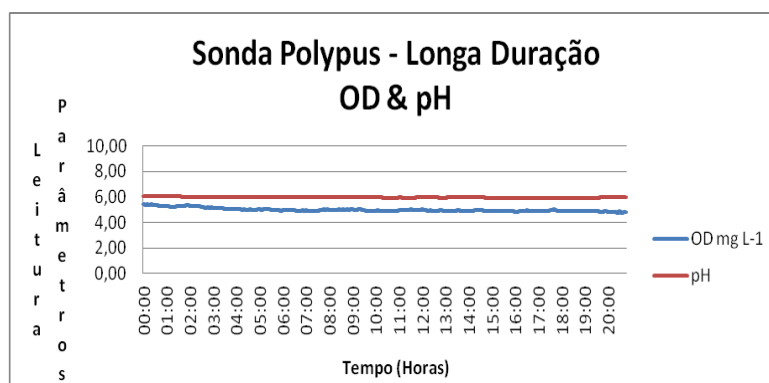


Figura 51 – Gráfico de Oxiênio Dissolvido e pH coletados em validação de longa duração de amostra do Rio Buranhém  
Fonte: Cunha (2019)

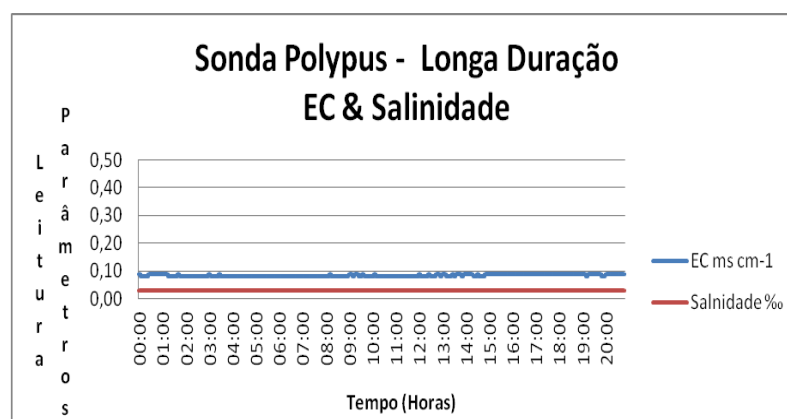


Figura 52 - Gráfico de Eletro Condutividade e Salinidade coletados em validação de longa duração de amostra do Rio Buranhém  
Fonte: Cunha (2019)

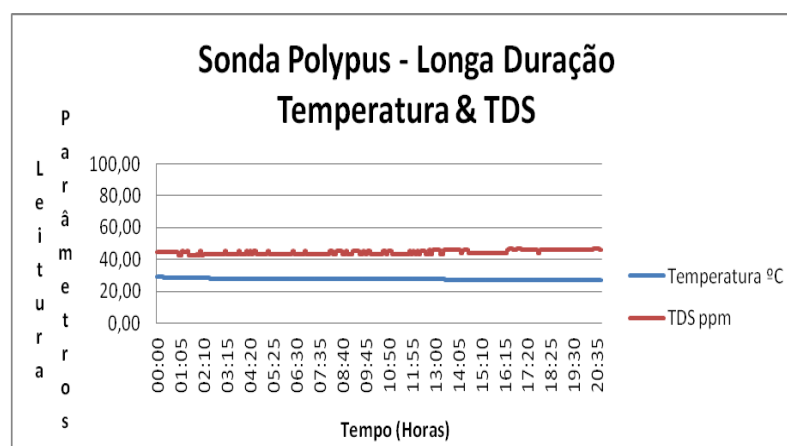


Figura 53 - Gráfico de Temperatura e Sólidos Totais Dissolvidos coletados em validação de longa duração de amostra do Rio Buranhém  
Fonte: Cunha (2019)

Verifica-se nas figuras 51, 52 e 53 que apesar da longa duração do processo de leitura os parâmetros se mantiveram dentro de uma linearidade prevista, uma vez que alterações sejam naturais ou por meio de agentes químicos, que promovem alterações nos parâmetros não ocorreram na amostra, o que levou a um resultado estável por parte da sonda ao longo do tempo de leitura.

### 5.2.3. Validação com inserção de agentes químicos: pH

Para certificar que as alterações no meio poderiam mudar o comportamento das duas sondas de forma equivalente, uma nova análise de duração contínua foi iniciada, todavia com inserção de NaOH( Hidróxido de Sódio) para aumento do parâmetro pH e HCl (Ácido Clorídrico) para diminuição do pH ao longo do tempo, ambos em dosagens de 1000ul de 0,1 mol l<sup>-1</sup> de concentração. Foi inserido também um terceiro equipamento de medição de pH, o phmetro QX1500 da MS Tecnopon Instrumentação, com objetivo de validar os resultados encontrados. Os resultados obtidos com a inserção dos agentes estão na tabela 12.

	Ácido Clorídrico – HCl				pH	Hidróxido de Sódio - NaOH			
	3500ul	2500ul	1500ul	1000ul		2000ul	3000ul	4000ul	6000ul
<b>Hanna</b>	3,69	4,01	4,47	5,01	6,18	8,46	9,06	9,31	9,63
<b>Polypus</b>	4,56	5,02	5,60	5,97	6,91	9,11	9,60	9,84	10,12
<b>QX1500</b>	3,98	4,32	4,73	5,22	6,56	8,91	9,29	9,52	9,85

Tabela 13 - Dados de pH em amostra da Embasa com inserção de Hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico  
Fonte: Cunha (2019)

A partir dos resultados obtidos, a figura 54 apresenta o padrão de comportamento dos equipamentos envolvidos na medição da amostra.

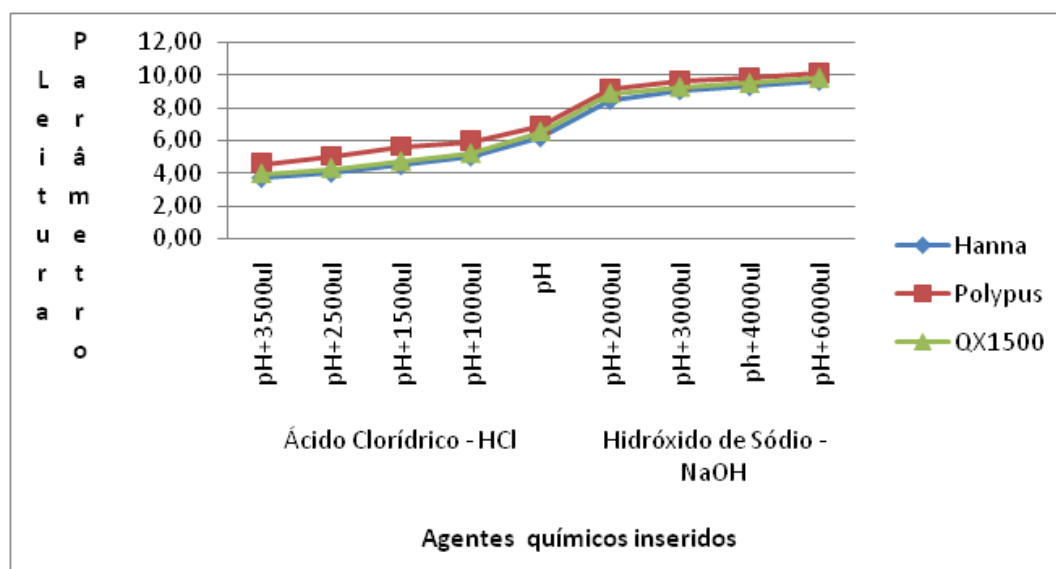


Figura 54 – Gráfico com curva obtida por meio de sondas multiparâmetros em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.

Fonte: Cunha (2019)

Observando-se os resultados apresentados na tabela 06 e na figura 54 elaborado a partir dos dados registrados, verifica-se que as sondas Hanna e Polypus mais uma vez se comportam de forma análoga e que o terceiro equipamento inserido, o phmetro QX1500, também apresenta curva similar a partir dos resultados lidos, o que permite inferir uma funcionalidade equivalente entre si.

Em análise comparativa aos pares dos resultados alcançados na tabela 12, na busca de conhecer o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) entre os equipamentos, gerou a tabela 13 abaixo.

Equipamentos Comparados	$R^2$
Polypus X Hanna	0,998
QX1500 X Polypus	0,996
Qx1500 X Hanna	0,998

Tabela 14 - Coeficiente de correlação entre as sondas

Fonte: Cunha (2019)

Verifica-se na figura 55 que com os resultados lidos pelas sondas Polypus e Hanna e utilizando o coeficiente de correlação para avaliar a qualidade de ajuste de dados alcançou-se um  $R^2 \approx 0,998$ .

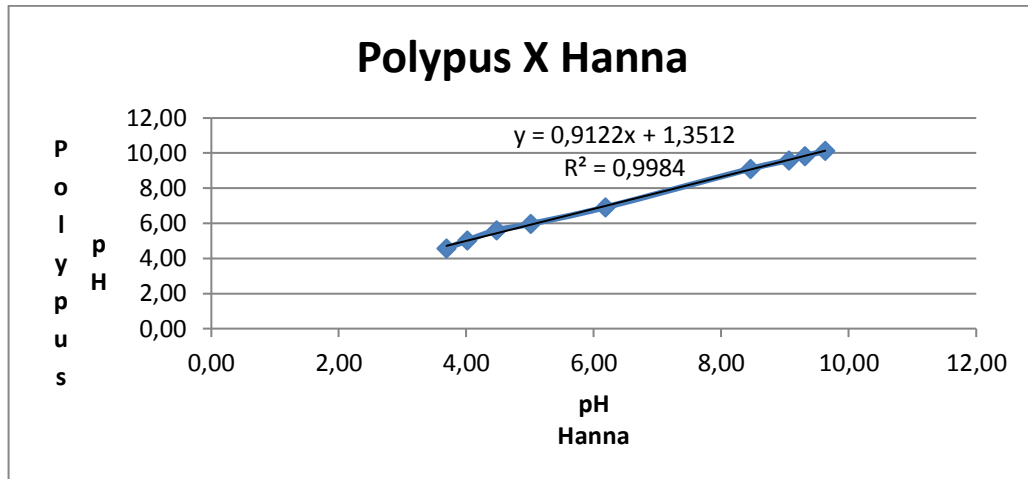


Figura 55 – Coeficiente de correlação entre as sondas Polypus e Hanna em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.

Fonte: Cunha (2019)

Repetida a análise entre os equipamentos, dessa vez o phmetro QX1500 e a sonda Polypus a figura 56 apresenta um coeficiente de correlação em  $R^2 \approx 0,996$ .

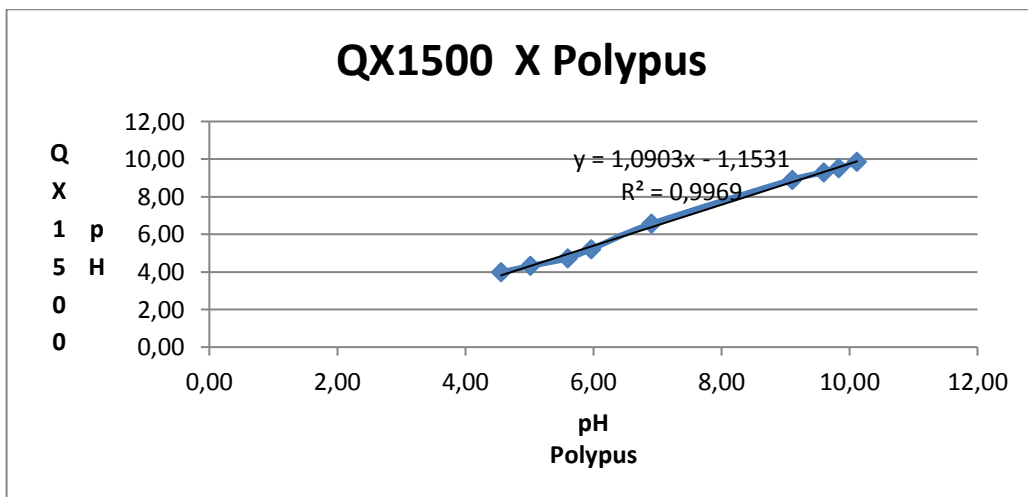


Figura 56 - Coeficiente de correlação entre o phmetro QX1500 e sonda Polypus em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.

Fonte: Cunha (2019)

A figura 57 apresenta o coeficiente de correlação entre os dispositivos usados como norteadores/validadores da sonda Polypus, sendo o  $R^2 \approx 0,998$ .

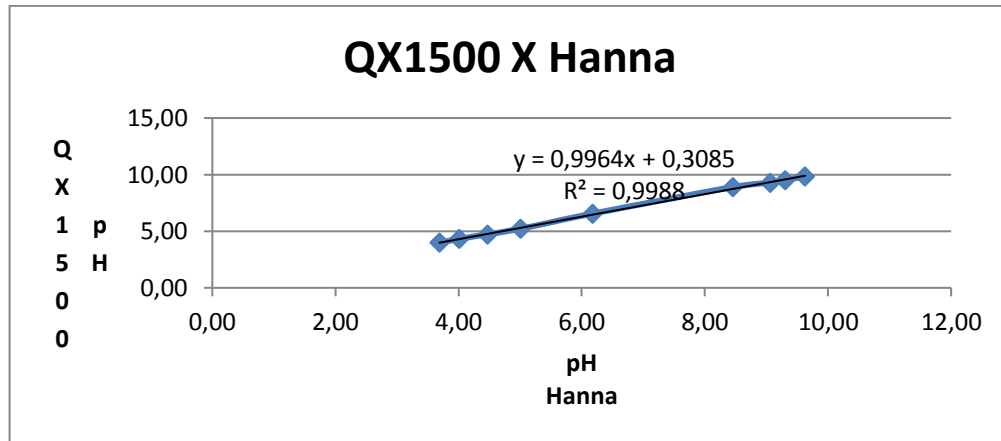


Figura 57 - Coeficiente de correlação entre o phmetro QX1500 e sonda Hanna em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.  
Fonte: Cunha (2019)

Para Triola (2011) o coeficiente de correlação  $R^2$  explica o quanto o modelo é significativo sendo seus valores referenciais para determinar a correlação entre as partes. Na tabela 1, os coeficientes de correlação estão próximos a 1 e, segundo Spiegel (1976) o valor de  $R^2$  varia entre 0 e 1, indicando quanto mais próximo do valor 1, maior a correlação entre as medidas.

Nota-se que os coeficientes de correlação alcançados nessa etapa da pesquisa corroboram com a afirmação acerca da funcionalidade e confiabilidade do protótipo desenvolvido.

### 5.3. Demais funcionalidades da sonda desenvolvida

Outras funcionalidades como armazenamento dos dados em cartão micro-SD e transmissão dos valores por tecnologia GSM/SMS se comportaram de forma estável, sendo na transmissão identificada a limitação da área de cobertura da operadora, o que pode influenciar diretamente no tempo de transmissão os dados. Foi identificado que apesar do protótipo informar o envio dos dados, o recebimento dos mesmos pelo celular cadastrado dependia diretamente da operadora de telefonia móvel. A Figura 58 apresenta o formato do recebimento dos dados em dispositivo móvel.

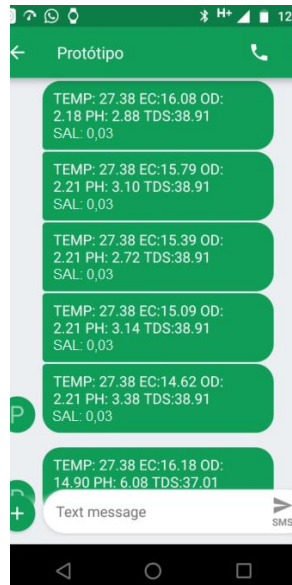


Figura 58 - Recebimento dos dados coletados em dispositivo móvel  
Fonte: Cunha (2019)

Já o armazenamento em cartão micro-SD se comportou conforme previsto gerando o arquivo necessário para análise dos resultados, conforme apresentado na figura 59. Trata-se de um arquivo básico .txt que pode ser aberto nos mais comuns aplicativos editores de texto e planilhas.

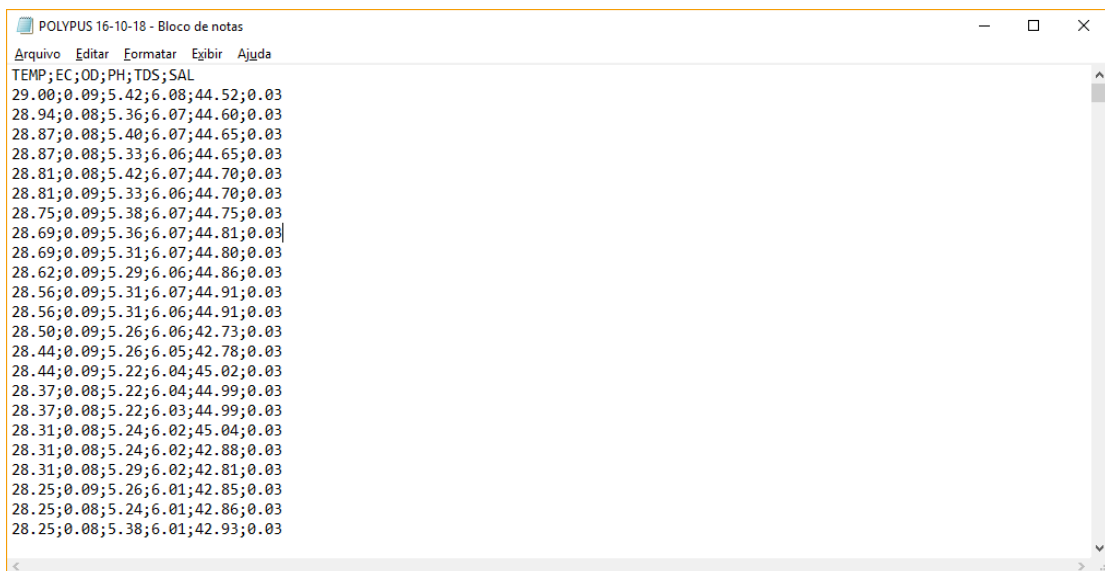


Figura 59 - Arquivo .txt do cartão micro-SD  
Fonte: Cunha (2019)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em sumário esta dissertação pode ser descrita por: 1) A construção de um protótipo de sonda multiparâmetro capaz de realizar medidas de parâmetros físico-químicos ambientais relevantes em meios aquosos; 2) Desenvolvimento de um programa para gestão do sistema integrado bem como armazenamento/transmissão dos dados coletados no protótipo; 3) A utilização de medidas ambientais, por meio de outros dispositivos, que aparecem neste contexto como norteadoras da validação do protótipo, sendo indispensáveis na interpretação de fenômenos naturais.

Dos resultados conclui-se que:

- A metodologia aplicada para a construção do protótipo Polypus, que reproduzisse as medidas de uma sonda profissional, no caso a sonda multiparâmetros Hanna HI 9828, utilizando-se um sistema integrado dotado de sensores fabricados pela empresa Dfrobot em plataforma Arduino Mega, demonstra ser possível, permitindo-se utilizar deste recurso para este tipo de estudo, uma vez que se consideram fatores primordiais para a condução do experimento (e.g. utilização de soluções tampão para calibração, testes de amostragem nos mesmos ambientes, sensores calibrados para obter resultados da mesma grandeza, volume de amostras em períodos iguais, etc.);
- Um dos melhores indicadores de que o tipo de modelo de protótipo aqui construído está respondendo satisfatoriamente é de que o mesmo apresenta-se com uma boa correlação com os valores da sonda Hanna HI 9828, entre os valores das grandezas comparadas inerentes para cada ambiente (Embasa, Rio Mundaí e Rio Buranhém), sendo ambos altamente dependentes entre si, mesmo levando em consideração as faixas de precisão de cada fabricante e variações inerentes ao material de cada sensor;
- A sonda Polypus se manteve estável em medições de longa duração sem variações inexplicáveis ou inesperadas;
- Ao serem inseridos agentes químicos para alteração de parâmetros a sonda Polypus acompanhou a variação de valores apresentada pelos outros equipamentos envolvidos, com coeficiente de correlação entre 0,996 e 0,998;
- As rotinas de armazenamento e transmissão foram executadas sem a identificação de problemas significativos.
- O software desenvolvido para coletar os dados dos sensores por meio das portas analógicas/digitais da placa microcontroladora, mostrou-se consistente e confiável, não



apresentando falhas na execução das rotinas. O armazenamento dos dados ocorreu de acordo com o programado, sendo os mesmos armazenados em cartão micro-SD para posterior leitura. A rotina de transmissão não apresentou falhas, mas foi identificado que, por usar a rede de cobertura da empresa de telefonia móvel, os dados em alguns momentos não eram entregues no momento informado pela sonda Polypus;

- O software pode ser utilizado de forma contínua por longa duração sem a necessidade de recursos extras como computadores ou dispositivos com maior capacidade de processamento;

Por fim, tem-se que a solução integrada para análise de parâmetros físico-químicos utilizando plataforma microcontroladora Arduino, Polypus, é um sistema viável economicamente apresentando um baixo custo real na construção da solução de análise de águas superficiais. Se comparados os investimentos necessários para aquisição de ambas sondas verifica-se uma economia na casa de 85% aproximadamente. Com sua escalabilidade de hardware e software a sonda Polypus se torna uma solução de fácil adaptação as mais diversas necessidades econômicas, sociais e ambientais, contribuindo para pesquisas acadêmicas, planejamento, controle e acompanhamento por parte dos agentes fiscalizadores, além de cumprir seu papel acadêmico na formação do saber coletivo.

Em relação às sugestões futuras, recomenda-se que:

- Um desafio ainda posto é o flutuador para acomodação dos protótipos, evitando possíveis acidentes e danos ao equipamento. No caso da sonda Polypus, inicialmente uma solução com canos PVC foi criado, todavia não apresentou estabilidade em oscilações na superfície da água. Mesmo acomodada em caixa hermética, vedada para que a água não possa entrar, os conectores onde estão ligados os sensores são um ponto frágil da solução;
- Sejam realizadas medições experimentais com outras sondas profissionais, para confirmação dos dados decorrentes das medidas do protótipo, utilizados aqui neste trabalho;
- Se construa um protótipo mais amplo para avaliação das medidas ambientais, que leve em consideração todos os fatores relevantes para esta finalidade, para que o mesmo sirva de base principalmente para fins de monitoração ambiental por órgãos fiscalizadores ou para utilização de prospecção.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O, Á. DE. **Qualidade da Água de Irrigação**. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 227p.

ALVARENGA, Livia Alves et al. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do rio Paraíba do Sul-São Paulo, após ações de preservação ambiental/Study of the quality and quantity of waters of a tributary watershed of Paraíba do Sul river-São Paulo, after environmental preservation actions. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 228, 2012.

AMÂNCIO, Diego Vipa et al. **Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais**. Scientia agraria, v. 19, n. 1, p. 75-86, 2018.

ANA Agência Nacional de Águas. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Primeiros Passos com o Arduino–2ª Edição: A plataforma de prototipagem eletrônica open source**. Novatec Editora, 2015.

BATISTA, Alan Vinícius de Araújo. **Robô irrigador multifuncional de baixo custo para agricultura familiar (RIRRIG)**. 2016. Tese de Doutorado.

BASTOS, Franciele de et al. **Estratégias para o monitoramento da qualidade da água em bacias rurais de cabeceira**. 2018.

CAPELLA, J. V. et al. A wireless sensor network approach for distributed in-line chemical analysis of water. **Talanta**, v. 80, n. 5, p. 1789-1798, 2010.

CERQUEIRA NETO, Sebastião Pinheiro Gonçalves. Uma análise da dicotomia entre urbanização e meio ambiente no município de Porto Seguro/BA. **Revista Geografares**, Espírito Santo, v. 11, p. 60-86, 2012.

CERQUEIRA NETO, Sebastião Pinheiro Gonçalves; DA SILVA, Leonardo Thompson. **TURISMO E DESENVOLVIMENTO: TRANSFORMAÇÕES NO TERRITÓRIO DA REGIÃO DO EXTREMO SUL DA BAHIA**. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55. 2015.

CRUZ, Ariadne Arrais; LISBOA, Emerson Fausto. Webhome–automação residencial utilizando raspberry pi. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 31, 2014.

DA COSTA, Alexandre Aprato Ferreira. Persistência de Dados no MySQL com Arduino: Uma Proposta Utilizando MySQL Connector/Arduino. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 11, n. 11, p. 39-43, 2016.

DA SILVA, Aline Barboza; DA COSTA PEREIRA, Fábio Sergio. ANÁLISE E UTILIZAÇÃO DO POTENCIAL SOLAR EM EDIFICAÇÕES DE NATAL-RN. **REVISTA UNI-RN**, v. 15, n. 1/2, p. 13, 2018.

DE ALMEIDA, Rodrigo Maximiano Antunes; DE MORAES, Carlos Henrique Valério; SERAPHIM, Thatyana de Faria Piola. **Programação de Sistemas Embarcados: Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. Elsevier Brasil, 2017.

DE OLIVEIRA, João Carlos Silva. **Paradigm of Object Orientation in the C++ Programming Language**. 2016.

DFROBOT. **Gravity: Analog pH Sensor/Meter kit for Arduino**. SEN0161. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/product-1025.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

DFROBOT. **Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor/Meter kit for Arduino**. SEN0237-A. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/product-1628.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

DFROBOT. **Gravity: Waterproof DS18B20 sensor kit**. DS18B20. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/product-1354.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

DFROBOT. **Gravity: Analog TDS Sensor/Meter for Arduino**. SEN0244. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/product-1662.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

DIAS MARTINI, Luiz Fernando et al. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, 2012.

DINIZ, Anibal Mantovani et al. **Sistema automatizado de aquisição, em tempo real, de umidade e temperatura do solo na irrigação**. 2017.

FAUSTINE, Anthony et al. Wireless sensor networks for water quality monitoring and control within lake victoria basin: Prototype development. **Wireless Sensor Network**, v. 6, n. 12, p. 281, 2014.

FONSECA, Sândira Livia Moraes. **Efeito da redução da vazão de restrição defluente da barragem de xingó na salinidade da água no baixo trecho do rio São Francisco**. 2019.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde, **Manual de Controle da Qualidade da Água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 2014, 116p. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files\\_mf/manualcont\\_quali\\_agua\\_tecnicos\\_trab\\_emetas.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf)>. Acesso em: 26 de novembro 2018.

GEETHA, S.; GOUTHAMI, S. Internet of things enabled real time water quality monitoring system. **Smart Water**, v. 2, n. 1, p. 1, 2016.

GUEDES, Hugo AS et al. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 5, 2012.

KOMIDO, Daniel Tsuneo Moreira; REIS, Douglas Henrique; GALLO, Wesley Natanael. MONITORAMENTO DE ATIVOS DE REDE COM USO DE GSM E SMS SOBRE PLATAFORMA ARDUINO. **RE3C-Revista Eletrônica Científica de Ciência da Computação**, v. 11, n. 1, 2017.

LAMAS, I.; PEREIRA, R.; CUNHA, R.; MAIA, M.; TEDESCO, E.; MORGADO, J.; NASCIMENTO, E. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de Porto Seguro – Bahia**. Porto Seguro, 2014. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/PMMA-PORTO-SEGURO-TELA.pdf>>. Acesso em: 19fev. 2019.

LIMA, Renato Sousa et al. Um Sistema Microcontrolado para o Monitoramento On-Line, In Situ E Remoto de PH, Condutividade e Temperatura de Águas. João Pessoa – PB, Quim. Nova, Vol. 34, No. 1, 135-139, 2011.

LOUREIRO, Antonio AF et al. Redes de sensores sem fio. In: **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)**. sn, 2003. p. 179-226.

MACHADO, Felipe Nery Rodrigues. **Big Data O Futuro dos Dados e Aplicações**. Editora Saraiva, 2018.

MARCONATI SANTI, Giuliana et al. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n. 1, 2012.

- MCROBERTS, Michael. Arduino básico. **Novatec Editora**, 2<sup>a</sup>ed, 2015.
- MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com Sketches**. Bookman Editora, 2017.
- MOREIRA, Debora Astoni. Qualidade das águas de minas no perímetro urbano do município de Ubá-MG. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 1, p. 84-89, 2018.
- SANTOS, Milton. **Pensando o espaço do homem**. Edusp, 2004.
- OLIVATTI, Yuri Marinho; AMANN, Kurt André Pereira; MAIA, Rodrigo Filev. Aplicação de Sensores e Modelo Geomorfológico para Monitoração de Áreas de Riscos de Acidentes Naturais. **Revista de Informática Aplicada**, v. 12, n. 1, 2016.
- OLIVEIRA, F. L. **Políticas públicas de incentivos as reservas particulares no estado da Bahia voltadas à conservação das águas**. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Ilhéus, Bahia. 101f, 2010. Disponível em:<<http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/200860070d.pdf>>. Acesso em: 07 out 2018.
- OLIVEIRA, João Paulo CM et al. Modelagem, Implementação e Simulação de um Protocolo de Comunicação em Tempo Real para uma Rede de Sensores sem Fio. **Revista INNOVER---**  
**---ISSN: 2448-4105**, v. 1, n. 4, p. 27-36, 2014.
- PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017.
- PROCÓPIO PONTES, Patrícia; RODRIGUES MARQUES, Andréa; FERNANDES MARQUES, Guilherme. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro-bacia do Córrego Banguelo-Contagem. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, 2012.
- RAUT, Vinod; SHELKE, Sushama. Wireless acquisition system for water quality monitoring. In: **2016 Conference on Advances in signal Processing (CASP)**. IEEE, 2016. p. 371-374.
- RÉGIS-SILVA, Midson Jonhatas et al. Comparação ente um termômetro contruído com arduino etermômetros usados no mercado. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 10, n. 2, p. 140-147, 2017.

RICHERT, Raquel Roll. Monitoramento de quatro pontos de abastecimento de água pública do município de Roque Gonzales/RS. 2018.

SANTOS, G. N. **Caracterização do Registrador Multipropósito Modular para Monitoramento Remoto**. Dissertação de Mestrado, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro-RJ, 108p. 2011.

SANTOS, Gilmar O.; HERNANDEZ, Fernando BT. Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 60-68, 2012.

SANTOS, Monique VB et al. Monitoramento Automático da Qualidade de Água para Pisciculturas. **Anais SULCOMP**, v. 8, 2017.

SANTOS, T. A.; BOMFIM, T. M.; SILVA, F.; SILVA, A. G.; BANDEIRA, M. L. S. F.; JESUS, R.M.; NASCIMENTO, L. D. Determinação de Metais em um Sistema Estuarino: Laguncularia Racemosa como um potencial indicador de contaminação. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, ed. 49, p. 51-65, 2018.

SCHUH, Marcelo Ordakowski. Caracterização e análise térmica de um microprocessador de alta performance via método numérico. 2017.

SENA, M. G. T. et al. Variabilidade da condutividade elétrica e do pH nas águas superficiais da região semiárida. In: **III INOVAGRI International Meeting, Fortaleza, Ceará**. 2015.

SILVA, Ana Carolina Rodrigues de Sá. Hidrodinâmica do Estuário do Rio Buranhém, Porto Seguro–Bahia. 2016.

SILVA, Marcel Salvioni da. Rede de Sensores Sem fio de Baixo Custo para Monitoramento Ambiental. 2013. 139p. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/259030>>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

SPERLING, Marcos V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4º ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014 470p.

SPIEGEL, Murray R. Estatística. São Paulo, Editora: PEARSON, Ed. 1976.

TRIOLA, Mario F. Introdução à estatística. In: **Introdução à estatística**. 2011.

VIJAYAKUMAR, N.; RAMYA, R. The real time monitoring of water quality in IoT environment. In: **2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)**. IEEE, 2015. p. 1-5.

VINUEZA, Tatayo; RAMIRO, Edison. **Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales utilizando hardware y software open source**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Quito, 2017.

VOLTAN, Diego Scacalossi. **Desenvolvimento de um sistema computacional integrado para monitoramento de parâmetros físico-químicos da água e análise óptica de gotejadores**. 2015.