

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

Ricardo Almeida Cunha¹

Allison Gonçalves Silva²

Leonardo Dias Nascimento³, Luciano de Souza Lima⁴

Marcus Luciano Ferreira de Souza Bandeira⁵

RESUMO

A baixa disponibilidade no mercado de sondas multiparâmetros de baixo custo que permitam a coleta de dados e acesso aos seus resultados em tempo real remotamente levou ao desenvolvimento dessa pesquisa. Este trabalho apresentou uma contribuição na criação e implementação de um sistema integrado (hardware e software), batizado 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 Arduíno 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 multiparâmetros Hanna HI 9828. Os resultados foram confrontados e por meio de comparação simples 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 multiparâmetros 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: Polypus. Águas Superficiais. Arduíno. Sonda Multiparâmetros.

¹ Graduado em Processamento de dados (1996). Especialista em Redes de Computadores (1999). Mestrando em Ciências e Tecnologias Ambientais na Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB. Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Porto Seguro. <http://orcid.org/0000-0003-4819-2649> E-mail: rcunha@ifba.edu.br

² Químico; Doutorado em Química pela Universidade Federal da Bahia; Docente no Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA – Campus Porto Seguro) BA, Brasil. E-mail: alissongoncalves@yahoo.com.br

³ Graduado em Gestão Ambiental pela Universidade Norte do Paraná (2013). Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2015). Técnico em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Porto Seguro. E-mail: Leonardo.dias@ifba.edu.br

⁴ Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Santa Cruz (2003). Mestrado em Química pela Universidade Federal da Bahia (2005) e doutorado em Química pela Universidade Federal da Bahia (2009). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Porto Seguro. E-mail: lucianolim@yahoo.com.br

⁵ Bacharel em Química pela Universidade Federal da Bahia (1997). Mestrado em Química Universidade Federal da Bahia (2002) e doutorado em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia (2009). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Porto Seguro. E-mail: marcus_bandeira@yahoo.com.br

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. The results were compared and by simple comparison an analytical behavior of the devices could be verified, showing that there were no significant differences in the 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: Polypus. Surface Water. Arduino. Multiparameter Probe.

1 INTRODUÇÃO

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).

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. 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).

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 arduíno. Segundo Banzi (2015) o arduíno é uma plataforma de computação física de fonte aberta, o que permite o compartilhamento da tecnologia entre diversos interessados no assunto.

Na área de meio ambiente existem soluções para coleta de dados por meio de sondas multiparâmetros, todavia não foram encontradas soluções com transmissão de dados, no máximo apenas o armazenamento em cartão de memória foi identificado. 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.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico são apresentados estudos e conceitos relacionados à pesquisa de tecnologia e suas aplicações na gestão ambiental, importância das águas superficiais e principais parâmetros físico-químicos encontrados nos corpos hídricos.

a. AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUA IMPORTÂNCIA

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. 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.

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

b. 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 à

presença de matéria orgânica ou inorgânica, representados pelo pH, eletro condutividade, oxigênio dissolvido e outros.

i. 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 sete indicam um meio ácido, o valor sete indica um meio neutro, enquanto os valores acima de sete indicam meios básicos, o intervalo indicado ao consumo humano se encontra entre seis e nove vírgula cinco.

ii. SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (TDS)

O TDS é a soma de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas encontradas dissolvidas na água. 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.



iii. ELETRO CONDUTIVIDADE (EC)

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. 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.

iv. 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. 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. Os níveis de salinidade da água doce devem ser menores do que 500 mg L^{-1} ou 0,5 ‰

v. 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 mg L^{-1} a 5 mg L^{-1} , sua ausência ou concentração pode intervir diretamente no meio e nos organismos existentes.

vi. TEMPERATURA

Para Piratoba (2017) a temperatura reflete o grau de aquecimento das águas e da radiação solar, estando à temperatura diretamente relacionada com fatores como clima, composição geológica e condutividade elétrica, dentre outras. É o parâmetro que faz a medição da intensidade de calor e possui relação direta com os demais parâmetros. Por padrão é utilizada a temperatura ambiente de 25°C uma vez que os ambientes aquáticos brasileiros apresentam geralmente temperaturas entre 20°C e 30°C .



c. TECNOLOGIA AMBIENTAL

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 Arduíno. Nessa etapa foram analisadas as plataformas: Arduíno, 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.

d. REGIONALIZAÇÃO DA PESQUISA

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.

Descritos no PMMA (2014), o rio Buranhém é apresentado como maior rio do município de Porto Seguro com nascente no estado de Minas Gerais. Por se tratar de um rio que corta muitos municípios é esperada a heterogeneidade apresentada quanto à principal fonte de poluição, os efluentes líquidos, em especial o lançamento do esgoto doméstico, afirma Santos et al. (2018). Já o rio Mundaí é um rio municipal 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 (PMMA, 2014). Uma vez que deságua nas praias do litoral norte também possui grande influência na qualidade das praias.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Definida o uso da plataforma microcontroladora Arduino Mega e demais dispositivos envolvidos, 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 a amostra da Embasa foi coletada no próprio Campus do Instituto Federal da Bahia (IFBA), local onde as análises de laboratórios foram executadas.

Alguns sensores físico-químicos de meios hídricos necessitam passar por processo de calibração, a fim de garantir confiabilidade nos resultados coletados, para tanto, cada fabricante orienta como se deve proceder a calibragem dos seus sensores. Normalmente soluções padrões conhecidas como tampão são necessárias para este

processo. Soluções tampão trazem em seu conteúdo valores pré-definidos que são utilizados 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 se calibrou os sensores do protótipo bem como da sonda multiparâmetros Hanna HI9828. Esta última 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 multiparâmetros Hanna HI9828 e da sonda prototipada, essas etapas foram efetuadas dentro dos laboratórios de química do Instituto Federal da Bahia - Campus Porto Seguro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

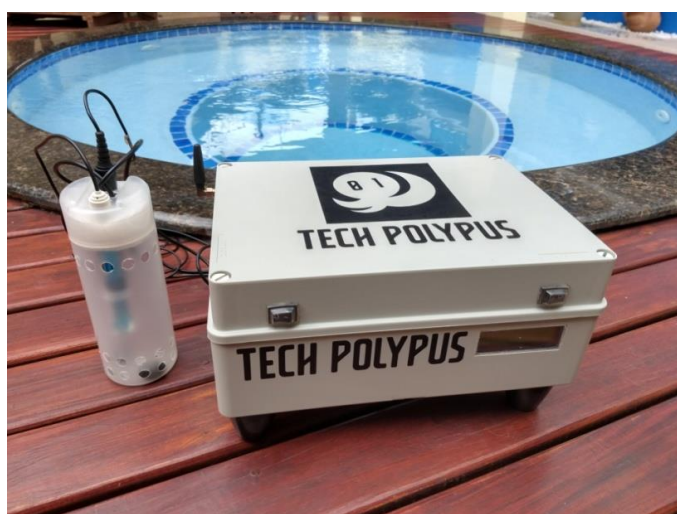
Para melhor compreensão dos resultados alcançados este tópico foi dividido em duas etapas. A prototipação da sonda apresentando o esquema de interligação do dispositivo, bem como, suas conexões individuais garantindo a possibilidade de replicação da pesquisa. Na segunda etapa encontra-se o diagrama de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



a. PROTOTIPAGEM DA SONDA POLYPUS

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.

Figura 1 – Protótipo Polypus

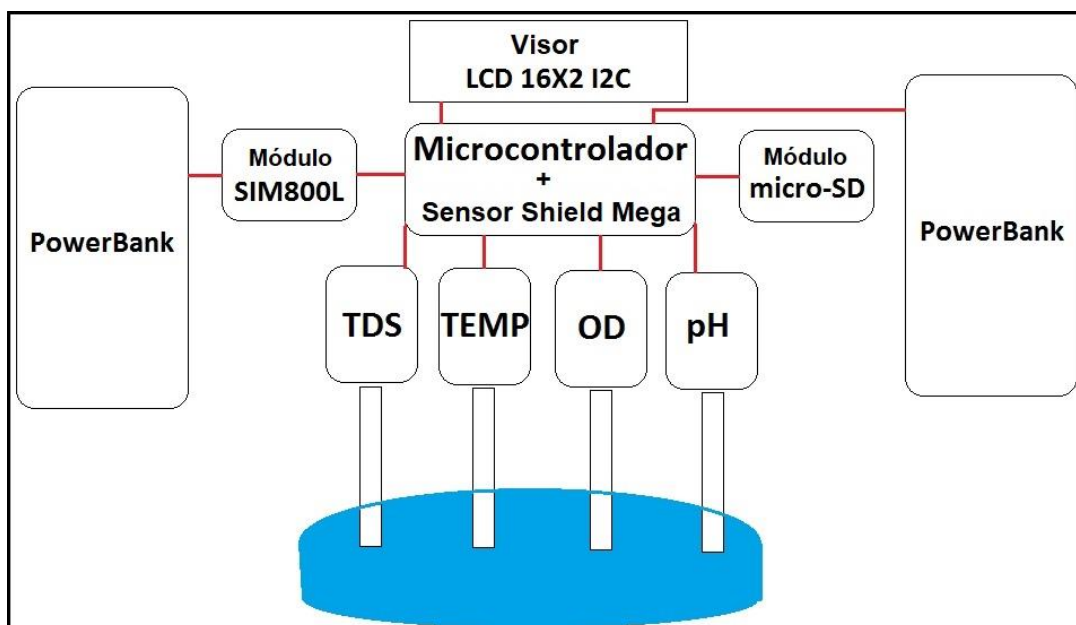


Fonte: Registro fotográfico do autor – 2017

Com a definição de todos os componentes eletrônicos necessários (Arduíno Mega, placa sensor shield mega, sensores de pH, TDS, EC, Salinidade, OD e Temperatura, todos da empresa Dfrobot e etc.) ao projeto foi desenvolvida a solução Polypus (Figura 1), para análise das águas superficiais.

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. Na figura 2 encontra-se o esquema de interligação de todos os componentes envolvidos no projeto para criação da sonda Polypus.

Figura 2 - Esquema de interligação da sonda Polypus



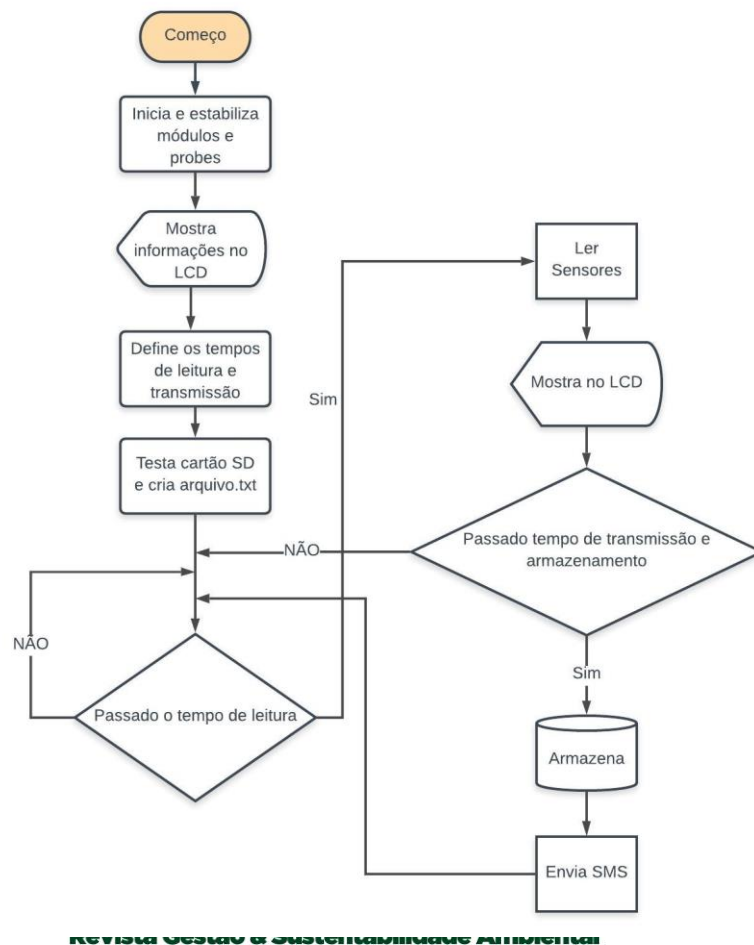
Fonte: Criado pelo autor

b. DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

No objetivo de dar funcionalidade a todos os componentes, à etapa de desenvolvimento de software foi iniciada por meio da interface IDE Arduíno. 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 leitura, armazenamento e transmissão dos dados foram desenvolvidas.

Para melhor compreensão do funcionamento da sonda Polypus a figura 3 apresenta um diagrama de bloco com as principais rotinas desenvolvidas e o fluxo das informações.

Figura 3 - Diagrama de bloco do funcionamento da sonda Polypus



REVISTA GESTÃO DE SISTEMAS E AMBIENTE

Fonte: Criado pelo pesquisador

c. DADOS OBTIDOS

Faustine et al. (2014) em sua pesquisa apresenta um protótipo desenvolvido em plataforma arduíno 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).

Nesta pesquisa tentou-se definir a confiabilidade no protótipo Polypus e conseqüente validação pela utilização de equipamentos comercializados no mercado profissional como referenciais aos valores lidos. Os processos de análises foram realizados por meio da sonda multiparâmetros Hanna HI 9828 e da sonda Polypus desenvolvida no decorrer desta pesquisa em plataforma microcontroladora arduíno. Ao utilizar a sonda multiparâmetros 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 seriam

correlacionadas ou não a um equipamento profissional, consolidado e já comercializado para as demandas ambientais.

A validação de curta duração teve por metodologia a coleta de dados imediatamente após a inserção das sondas na amostra analisada. Aos valores lidos foram aplicadas as faixas de precisão de cada sensor e posterior comparação dos dados. Nesta etapa foi usada amostra do rio Mundaí.

Figura 4 – Gráficos das leituras de curta duração com limite de precisão definido pelo Fabricante



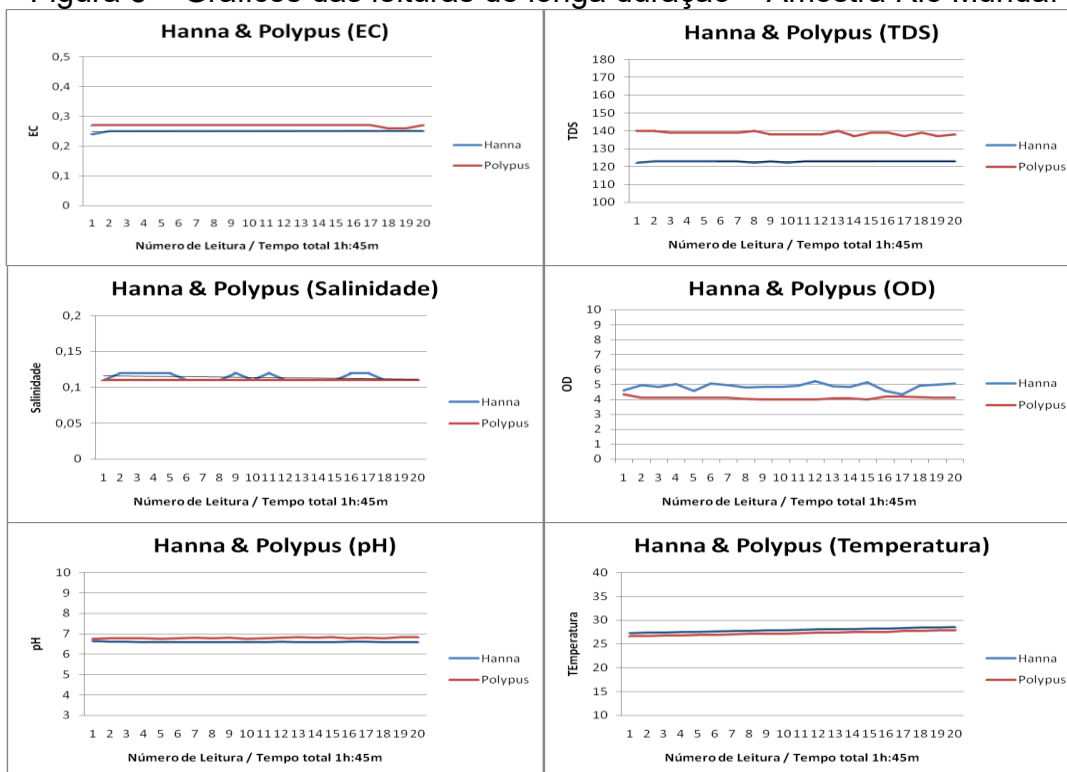
Fonte: Criado pelo pesquisador

Nota-se na figura 4 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.

Com objetivo de analisar o comportamento das sondas em períodos maiores de coleta de dados, uma validação de longa duração com intervalos de cinco minutos foi realizada numa amostra do rio Mundaí.

Na figura 5, comparativos dos parâmetros têm-se comportamento bastante regular. Ambas as sondas mostram comportamento gráfico nos resultados de uma função afim do tipo constante, dando a compreender que não houve alteração significativa destas grandezas, apesar de representarem equipamentos diferentes.

Figura 5 – Gráficos das leituras de longa duração - Amostra Rio Mundaí

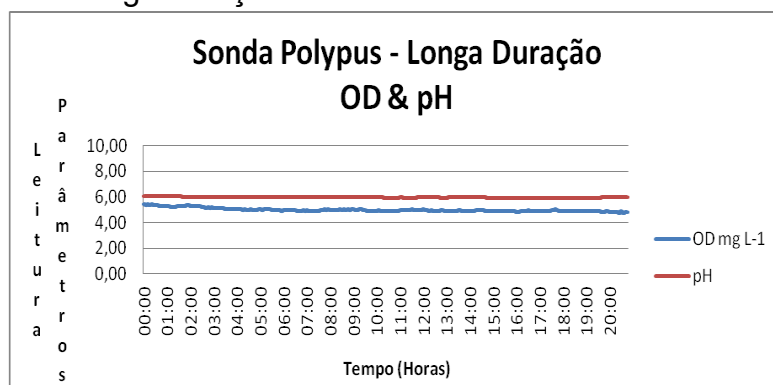


Fonte: Criado pelo pesquisador

No comparativo dos resultados as sondas possuem boa correlação quando se leva em consideração todos os parâmetros estudados até então.

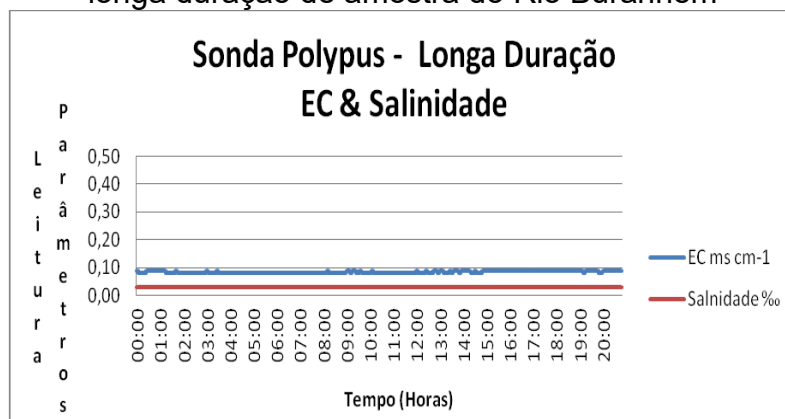
Outra análise de longa duração foi realizada, mas dessa vez sem a comparação entre as sondas, o objetivo dessa análise era verificar a estabilidade da sonda Polypus em longas medições. Para isso foram feitas, em amostra do rio Buranhém, duzentas e cinquenta leituras dos parâmetros analisados em intervalos de cinco minutos. Abaixo as figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados coletados e armazenados pela sonda Polypus.

Figura 6 – Gráfico de Oxigênio Dissolvido e pH coletados em leitura de longa duração de amostra do Rio Buranhém



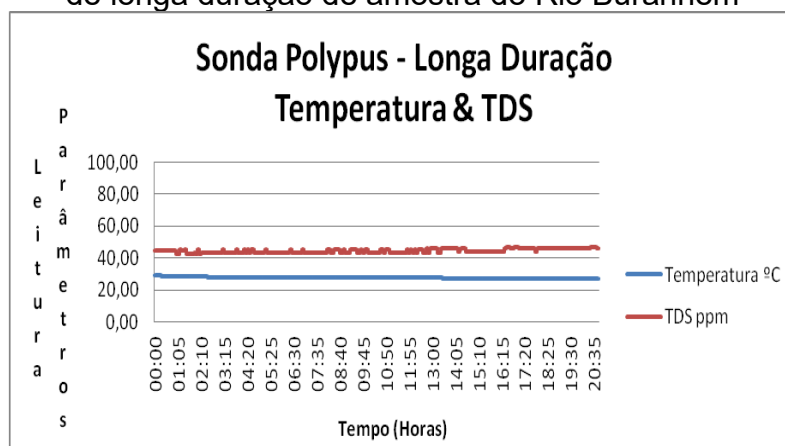
Fonte: Criado pelo pesquisador

Figura 7 - Gráfico de Eletro Condutividade e Salinidade coletados em leitura de longa duração de amostra do Rio Buranhém



Fonte: Criado pelo pesquisador

Figura 8 - Gráfico de Temperatura e Sólidos Totais Dissolvidos coletados em leitura de longa duração de amostra do Rio Buranhém



Fonte: Criado pelo pesquisador

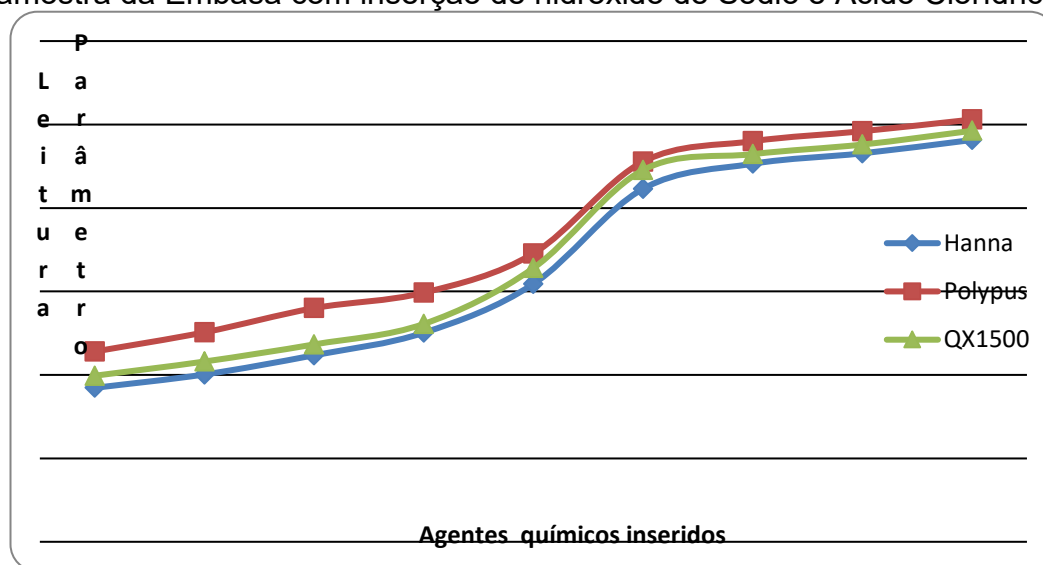
Apesar da longa duração do processo de leitura os parâmetros se mantiveram dentro de uma linearidade prevista, uma vez que alterações sejam naturais ou por meio de agentes químicos, que promovem alterações nos parâmetros não ocorreram

na amostra, o que levou a um resultado estável por parte da sonda ao longo do tempo de leitura.

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⁻¹ 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.

Observando-se os resultados apresentados na figura 9 verifica-se em amostra da Embasa 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.

Figura 9 – Gráfico com curva obtida por meio de sondas multiparâmetros em amostra da Embasa com inserção de hidróxido de Sódio e Ácido Clorídrico.



Fonte: Criado pelo pesquisador

Em análise comparativa aos pares dos resultados alcançados e na busca de conhecer o coeficiente de correlação (R^2) entre os equipamentos, apresenta-se a tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre as sondas

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

Fonte: Criado pelo pesquisador

Para Triola (2011) o coeficiente de correlação R² 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 R² 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.

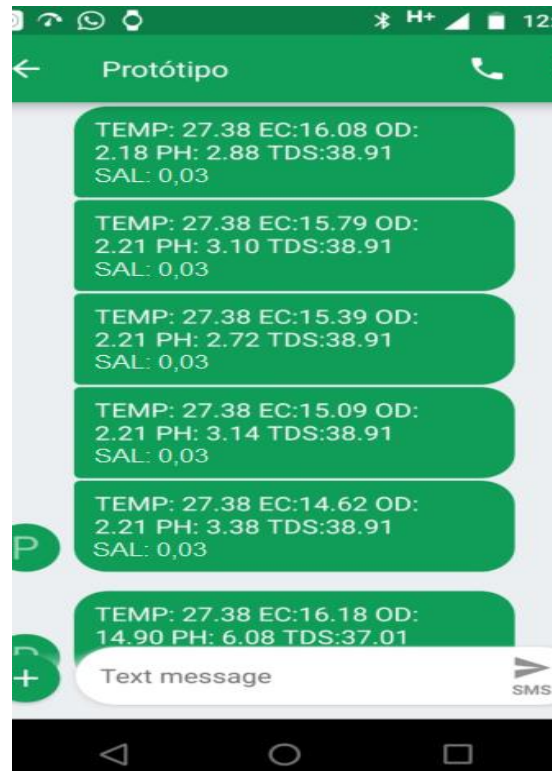
d. DEMAIS FUNCIONALIDADES



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 10 apresenta o formato do recebimento dos dados na tela do dispositivo móvel.

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

Figura 10 - Recebimento dos dados coletados em dispositivo móvel



Fonte: Registro da tela de celular



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 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, demonstrou ser exeqüível;
- 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 amostra (Embasa, Rio Mundaí e Rio Buranhém);
- 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;
- O software desenvolvido mostrou-se consistente e confiável, não apresentando falhas na execução das rotinas mesmo em testes de longa duração. O armazenamento dos dados ocorreu de acordo com o programado e 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;

Por fim, tem-se que a solução 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 as sondas verificou-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.



REFERENCIAS

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.

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

BATISTA, ALAN VINÍCIUS DE ARAÚJO. **Robô irrigador multifuncional de baixo custo para agricultura familiar (RIRRIG)**. 2016. Tese de Doutorado.


CERQUEIRA NETO, SEBASTIÃO PINHEIRO GONÇALVES. Uma análise da dicotomia entre urbanização e meio ambiente no município de Porto Seguro/BA. **Revista Geografica**, Espírito Santo, v. 11, p. 60-86, 2012.

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 LÍVIA 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>. 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. 

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: 19 fev. 2019.

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.

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.

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.

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, 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.

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.

SPERLING, MARCOS V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4^o 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.

