



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



MÁRCIO CLEI SILVA DE OLIVEIRA

**ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS COM TECNOLOGIAS DE CÓDIGO ABERTO: CASO DO PROJETO
MÃE D'ÁGUA DA REDE INFOAMAZONIA**

MACAPÁ – AP

2019

MÁRCIO CLEI SILVA DE OLIVEIRA

**ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS COM TECNOLOGIAS DE CÓDIGO ABERTO: CASO DO PROJETO
MÃE D'ÁGUA DA REDE INFOAMAZONIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Walter Teixeira Lima Junior

MACAPÁ – AP

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Thalita Ferreira – CRB2/1557

Oliveira, Márcio Clei Silva de.

Estudos sobre sistemas de análise e monitoramento de recursos hídricos com tecnologias de código aberto : caso do Projeto Mãe D'Água da Rede Infoamazonia / Márcio Clei Silva de Oliveira ; Orientador, Walter Teixeira Lima Junior. – Macapá, 2019.

102 f.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

1. Recursos hídricos - análise. 2. Monitoramento ambiental. 3. Tecnologias de código aberto. I. Lima Junior, Walter Teixeira, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

551.48 O48e
CDD. 22 ed.

MÁRCIO CLEI SILVA DE OLIVEIRA

**ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS COM TECNOLOGIAS DE CÓDIGO ABERTO: CASO DO PROJETO
MÃE D'ÁGUA DA REDE INFOAMAZONIA**

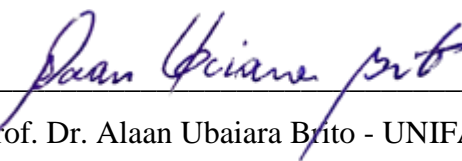
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 27 de junho de 2019.

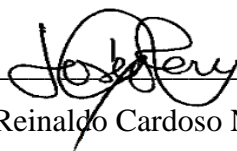
BANCA EXAMINADORA




Prof. Dr. Walter Teixeira Lima Junior - UNIFESP



Prof. Dr. Alaán Ubaiara Brito - UNIFAP



Prof. Dr. José Reinaldo Cardoso Nery – UNIFAP



Prof. Dr. Renato Richard Hilário - UNIFAP

À Deus e minha família, que são o significado da vida e a motivação para o alcance das minhas conquistas.

À meu saudoso pai Nilson Moura (*In Memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser minha força e fonte de inspiração. Obrigado pai por atender minhas orações nos momentos que mais necessitei.

À Universidade Federal do Amapá, através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade de expansão dos conhecimentos.

Ao professor e orientador Dr. Walter Teixeira Lima Junior pela acolhida, apoio e articulações ao desenvolvimento dessa pesquisa.

À InfoAmazonia, na figura do Sr. Ângelo Moscozo Silveira (VJ pixel), pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa com disponibilização de informações e equipamentos.

Ao Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará, Me. Elton Raniere da Silva Moura pela cordial disponibilidade para troca de informações e pelo apoio com fornecimento de equipamentos.

À equipe do Núcleo de Tecnologia da Informação da Universidade Federal do Amapá, pela disponibilidade de infraestrutura técnica, em especial ao Esp. Junior Gomes da Silva, pela dedicação e apoio técnico e operacional concedidos à esta pesquisa.

Ao Professor Dr. Alan Cavalcanti da Cunha e Técnico Geison Xisto, pela disponibilidade e apoio às atividades laboratoriais dessa pesquisa na Universidade Federal do Amapá.

Ao Professor Dr. Tiago Marcolino de Souza e colega do PPGCA Jefferson Bezerra, pela disponibilidade e apoio às atividades laboratoriais dessa pesquisa na Universidade Estadual do Amapá.

Aos colegas da Universidade Federal do Amapá, em especial aos do colegiado de Engenharia Elétrica, pelo incentivo e apoio oferecidos.

Aos colegas e professores do PPGCA, pela amizade, respeito e partilha de conhecimentos.

Agradeço a minha família, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio e incentivos, especialmente a minha esposa Jamaira Oliveira, por seu amor, orações e companheirismo que me fortaleceram em vários momentos difíceis.

Que Deus abençoes cada um de vocês.

“Os nossos conhecimentos são a reunião do raciocínio e experiência de numerosas mentes.”

Ralph W. Emerson

RESUMO

OLIVEIRA, M. C. S. **Estudo sobre sistemas de análise e monitoramento de recursos hídricos com tecnologias de código aberto:** caso do projeto Mãe d'Água da Rede InfoAmazonia. 102 p. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

Os avanços científicos e tecnológicos deveriam objetivar à sociedade melhores condições de vida, e o desenvolvimento de pesquisas que aliam os campos da tecnologia, saúde e meio ambiente são fundamentais para o alcance desse objetivo. Tecnologias emergentes na área das tecnologias digitais conectadas estão possibilitando a criação de equipamentos de pesquisa a custos muito baixos, tendo como consequência o aumento do interesse de diversos setores da sociedade por vários campos de pesquisa. Um desses interesses é a pesquisa que objetiva analisar e monitorar parâmetros relacionados às características de qualidade de recursos hídricos. A avaliação da qualidade da água requer recursos humanos e materiais para realização de coleta e exames em laboratórios com reagentes e equipamentos de custo elevado. A automação do processo de análise, sem a necessidade de intervenção humana para coleta de amostras ou avaliação destas, pode proporcionar a redução dos custos, aumentar a frequência dessas avaliações, reduzir o tempo de resposta a situações de risco e popularizar esse processo. Este trabalho objetiva avaliar as contribuições dos projetos de código aberto para a ciência e a sociedade, focalizando um sistema de análise e monitoramento de recursos hídricos com tecnologia aberta e de baixo custo. O sistema é composto por softwares de monitoramento e *hardware* construído em plataforma eletrônica de microcontroladores programáveis, acoplado a sensores que em contato com a água, são capazes de medir parâmetros físico-químicos que podem indicar à presença de contaminantes. O processo de pesquisa descritiva e analítica visou principalmente a identificação, registro e análise das características, fatores ou variáveis que se relacionam com esse estudo, através de avaliação experimental do sistema e revisão da literatura e documental buscando-se referências no contexto das Ciências Ambientais e Tecnológicas. Os resultados demonstraram que o sistema avaliado possui todos os elementos que o caracterizam como projeto de código aberto, demonstrando ainda baixo custo de construção de um medidor multiparamétrico de análise da água. O sistema demonstrou ser capaz de medir e monitorar parâmetros relacionados às características da água com boa exatidão, equiparando seu desempenho à equipamentos de tecnologia consolidada. Evidenciou-se neste estudo, crescente interesse na utilização de projetos de código aberto, relacionado aos benefícios advindos das características desse tipo de projeto. O estudo experimental do sistema avaliado constatou a possibilidade e viabilidade de sua utilização tanto para a sociedade, como instrumento com a capacidade de oferecer informações, mesmo que mínimas, das características da água que se utiliza; como ferramenta de dados que pode subsidiar políticas públicas de gestão dos recursos hídricos e ainda à própria ciência, como recurso que pode auxiliar e viabilizar a realização de pesquisas com menores custos.

Palavras-chave: Ciência aberta, Hardware aberto, Eletrônica embarcada, Monitoramento ambiental, Análise da água.

ABSTRACT

OLIVEIRA, MCS **Study on systems analysis and monitoring of water resources with open source technologies:** case of the project Mother of Water of the InfoAmazonia Network. 102 p. Dissertation - Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2019.

The scientific and technological advances should aim to society better living conditions, and the development of research that combines the fields of technology, health and environment are fundamental to the achievement this goal. Emerging technologies in the area of the connected digital technologies are enabling the creation of research equipment at very low costs, resulting in the increased interest of various sectors of society in various fields of research. One of those interests is the research that aims to analyze and monitor parameters related to the quality characteristics of water resources. The assessment of water quality requires human and material resources to carry out collection and testing in laboratories with high cost reagents and equipment. The automation of the analysis process, without the need for human intervention to collect samples or evaluation of these can provide a reduction in costs, increase the frequency of these assessments, reduce the response time to risk situations and popularize this process. This study aims to evaluate the contributions of open source projects for science and society, focusing on the study, the case of a system of analysis and monitoring of water resources with open and cost-effective technology. The system consists of monitoring software and hardware platform built in electronic programmable microcontroller coupled to sensors that in contact with water, they are capable of measuring physicochemical parameters that can indicate the presence of contaminants. The descriptive and analytical research process primarily aimed at the identification, recording and analysis of the characteristics, factors or variables that relate to this study, through system experimental evaluation and review of the literature and documentary are seeking references in the context of Environmental Science and technology. The results showed that the evaluated system has all the elements that characterize it as an open source project, also demonstrating low cost of construction of a multiparametric water analysis meter. The system has been shown to be able to measure and monitor parameters related to water characteristics with good accuracy, equating their performance with equipment of consolidated technology. It was shown in this study, increasing interest in the use of open source projects related to the benefits coming from the characteristics of this type of project. The experimental study of the evaluated system found the possibility and feasibility of its use for both society as a tool with the ability to provide information, even if minimal, characteristics of the water used; and as data tool that can support public policy management of water resources and also to science itself, as a resource that can assist and make feasible to carry out research with lower costs.

Key words: Open Science, Open Hardware, Embedded Electronics, Environmental Monitoring, Water Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição dos terminais e principais componentes da placa Arduino UNO R3.	24
Figura 2 - Influência da plataforma GitHub por áreas de conhecimento.	28
Figura 3 - Interesse de pesquisas pelos termos ao longo do tempo.....	29
Figura 4 - Tabela de pH.....	40
Figura 5 - Características dos eletrodos/sondas de pH.....	41
Figura 6 – Condutividade de amostras comuns.....	42
Figura 7 - Medidor multiparâmetro HI9829.....	47
Figura 8 - Módulo 1 MDA: Unidade de programação e processamento.....	52
Figura 9 - Módulo 2 MDA: Shield primário de acoplamento dos sensores do MDA.....	53
Figura 10 - <i>Shield</i> e eletrodo de medição de pH.....	54
Figura 11 - <i>Shield</i> e eletrodo de medição do ORP.	54
Figura 12 - <i>Shield</i> e sensor de medição de EC.	55
Figura 13 - Sensor de medição de temperatura acoplado ao MDA.....	56
Figura 14 - Módulo 3 <i>shield</i> de transmissão de dados.	57
Figura 15 - Dispositivo MDA montado.....	57
Figura 16 - Exemplo instalação do MDA em caixa d´água.	58
Figura 17 - Layout das PCI dos shields do MDA.	59
Figura 18 - Esquema eletrônico do MDA.	62
Figura 19 - Impregnação de impurezas no bulbo do eletrodo.	65
Figura 20 - Ativação de sensores e funções.	66
Figura 21 - Configuração de ajustes de calibração dos sensores.....	66
Figura 22 - Configurações de identificação, intervalo de medições e transmissão.....	67
Figura 23 - Configurações de destino de mensagens SMS e endereço para envio de dados. ..	67
Figura 24 - Identificação do MDA para transmissões de dados - Cadastramento do medidor na plataforma <i>web</i>	70
Figura 25 - Identificação do MDA para transmissões de dados - Identificação na programação do <i>firmware</i>	71
Figura 26 - Testes e calibração dos MDA em bancada.	73
Figura 27 - Medições de parâmetros da água: teste de equipamentos em duplicata.	81
Figura 28 - Medições de teste do MDA1 após substituição de eletrodos.	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de componentes eletrônicos para montagem das PCI.	60
Tabela 2 - Soluções para calibração do MDA.	63
Tabela 3 - Exemplos de formato das informações transmitidas.	69
Tabela 4 - Características da máquina virtual criada na UNIFAP.	72
Tabela 5 - Soluções de calibração utilizadas no teste.	73
Tabela 6 - Descrição dos instrumentos de comparação.	75
Tabela 7 - Descrição das amostras medidas.	76
Tabela 8 - Diretórios dos arquivos de desenvolvimento do sistema avaliado.	77
Tabela 9 - Custos para construção de uma unidade do MDA.	79
Tabela 10 - Exemplos de formato das informações transmitidas.	80
Tabela 11 – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.	84
Tabela 11 (continuação) – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.	85
Tabela 11 (continuação) – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP:Pa	Medição do sensor de pressão barométrica do ar, em Pascal
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicação)
BNC	Conector Bayonet Neill Concelman
CERN	Organização europeia para pesquisa nuclear
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de Carbono
DIY	<i>Do It Yourself</i> (Faça Você Mesmo)
E	Medição do sensor de luminosidade
EC	Condutividade Elétrica ou Condutância Específica
FOSS	<i>Free and Open source Software</i> (Software Livre e de Código Aberto)
FSF	<i>Free Software Foundation</i> (Fundação para o Software Livre)
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> (Sistema Global para Comunicações Móveis)
HCl	Ácido clorídrico
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
IQA	Índice de Qualidade das Águas
KCL	Cloreto de potássio
M	Mol
m/V	massa por volume
MDA	Equipamento Mãe d'Água
mS/cm	miliSiemens por centímetro
mV	milivolt
N	Normal ou equivalente-grama por litro
NaCl	Cloreto de Sódio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio

°C	Grau Celsius
°F	Grau Fahrenheit
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
ORP	Potencial de Oxidação/Redução
ORP:mV	Medição do eletrodo de ORP, em milivolt
OSI	<i>Open source Initiative</i> (Iniciativa código aberto)
PCI	Placa de Circuito Impresso
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RH	Medição do sensor de umidade
S/m	Siemens por metro
Singreh	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMS	<i>Short Message Service</i> (Serviço de mensagens curtas)
SUS	Sistema Único de Saúde
Ta:C	Medição do sensor de temperatura ambiente, em graus Célsius
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i> (Sólidos Dissolvidos Totais)
UNICEF	<i>United Nations International Children's Emergency Fund</i> (Fundo Internacional de Emergência para a Infância das Nações Unidas)
URL	<i>Uniform Resource Locator</i> (Localizador uniforme de recursos)
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial da Saúde)
μS/cm	microSiemens por centímetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Geral	19
2.2	Específicos.....	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	A ciência aberta e colaborativa.....	20
3.2	As tecnologias eletrônicas no contexto do código aberto.....	22
3.3	As contribuições da <i>internet</i> para os avanços do movimento código aberto..	26
3.4	Características de projetos de código aberto	30
3.5	Casos de projetos de código aberto para análise e monitoramento ambiental	32
3.6	Recursos hídricos.....	34
3.6.1	Legislação brasileira sobre poluição hídrica	35
3.6.2	Parâmetros de qualidade da água.....	37
3.6.2.1	Temperatura da água	38
3.6.2.2	O potencial hidrogeniônico (pH).....	39
3.6.2.3	A condutividade elétrica (EC).....	42
3.6.2.4	O potencial de oxidação/redução	43
3.6.3	Análise eletroquímica	45
3.6.4	Medidores multipamétricos de análise de água.....	46
3.7	O projeto Rede InfoAmazonia.....	48
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	Caracterização dos recursos avaliados	51
4.1.1	O hardware de medição de parâmetros da água	51
4.1.1.1	Composição do MDA.....	52
4.1.1.2	Esquemático e componentes eletrônicos.....	58
4.1.1.3	Manutenção do MDA.....	63
4.1.1.4	A programação do MDA.....	65
4.1.2	Os softwares de monitoramento	67
4.2	Caracterização do sistema como projeto de código aberto.....	71
4.3	Custos para construção do hardware	72

4.4	Avaliação do funcionamento do sistema	72
4.5	Testes comparativos	74
5	Resultados e Discussão	77
5.1	Caracterização do sistema como projeto de código aberto.....	77
5.2	Custos para construção do hardware	79
5.3	Testes de funcionamento do sistema	80
5.4	Testes comparativos de medições entre o equipamento MDA e equipamentos comerciais	84
5.5	Conclusões sobre o sistema avaliado	88
6	CONCLUSÕES.....	91
7	REFERÊNCIAS	96
	GLOSSÁRIO	102

1 INTRODUÇÃO

O surgimento de um modelo de ciência comunitária que incorpora a popularização do uso das ferramentas de tecnologia informatizada à práticas colaborativas de desenvolvimento de ideias, está possibilitando o surgimento de dispositivos que podem ser construídos a partir de tecnologias acessíveis. Esses dispositivos estão fomentando pesquisas nas mais diversas áreas de conhecimento, pois aliam necessidades específicas de determinadas pesquisas à disponibilidade de soluções tecnológicas alternativas de baixo custo através da implementação de projetos de código aberto. A intensificação do surgimento de projetos com essas características vem possibilitando a ampliação de pesquisas focalizadas no enfrentamento de problemas ambientais, dentre os quais está o acompanhamento de parâmetros relacionados à qualidade de recursos hídricos.

A preocupação com a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos do planeta vem mobilizando entidades públicas, entidades privadas e a sociedade, além de profissionais dos mais diversos campos da ciência ambiental em torno de ações que visem o seu uso sustentável.

Uma das principais ações atuais relacionadas à gestão sustentável dos recursos hídrico é a inclusão do objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) 6 na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas. Neste evento, 193 países assumiram compromissos sociais, econômicos e ambientais, dentre os quais está incluído o objetivo de assegurar até 2030 a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (ONU, 2015).

Todavia para atingir as metas desse objetivo global, compreende-se que serão necessários altos investimentos em infraestrutura que demandam tempo e soluções tecnológicas adequadas aos mais diversos cenários de habitação. Entende-se ainda que a disponibilidade de água para uma sociedade em expansão é um desafio que passa pela necessidade de maior consciência ambiental para a redução do desperdício, otimização dos atuais processos industriais e agrícolas e aprimoramento das tecnologias existentes de reutilização de águas residuais. De acordo com os dados apresentados pelo relatório mundial das Nações Unidas, a demanda mundial por água aumenta a taxa de 1% ao ano, indicando a tendência de ampliação das regiões com escassez de água, alertando ainda para significativa piora da poluição hídrica, relacionando esse quadro principalmente ao aumento populacional e econômico (UN WATER, 2018).

Em relação ao saneamento, de acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde e do Fundo das Nações Unidas para a Infância, cerca de 4,5 bilhões de pessoas no mundo não dispõem de saneamento seguro (WHO; UNICEF, 2017). No Brasil, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam que a região norte possui os menores percentuais de indicadores de saneamento básico, em que 55,4% da população é atendida por rede de abastecimento de água e somente 10,5% é atendida por rede de coleta de esgoto, sendo a maior parte desse atendimento localizada nas regiões urbanas (BRASIL, 2018).

Sem a disponibilidade de um sistema básico de saneamento, moradores de regiões urbanas e rurais, como ribeirinhos, indígenas, quilombolas, extrativistas entre outras comunidades que não possuem sistemas de abastecimento de água tratada para consumo e demais afazeres, passam a utilizar medidas alternativas para lidar com esse problema. Soluções como a captação de água de chuva, perfuração de poços e utilização direta da água de rios, lagos e açudes passam a ser frequentemente observadas em muitas localidades (WHO; UNICEF, 2017). Sem o devido tratamento e a falta de informações que possam indicar a possibilidade de contaminação dessas águas, seus consumidores passam a ser constantemente acometidos por doenças causadas pela ingestão de água imprópria (WHO, 2018).

Neste cenário, entende-se que a avaliação da qualidade da água passa a ser um importante ponto de interesse social e ambiental. Contudo, sua efetivação requer recursos humanos e materiais para realização de análises regulares da água com coletas e exames em laboratórios e com a utilização de reagentes e equipamentos de custos elevados, que acabam por inviabilizar esse processo.

Compreende-se portanto, que a automação do processo de análise da água, sem a necessidade de intervenção humana para coleta de amostras ou avaliação destas, pode vir a tornar-se uma alternativa viável pois poderá proporcionar redução dos custos, aumento da frequência dessas avaliações, redução do tempo de resposta à situações de risco e popularização desse processo.

Apoiado nestas questões, este estudo tem por objetivo realizar a avaliação do potencial de aplicabilidade de um sistema de código aberto voltado à análise e monitoramento de recursos hídricos, desenvolvido pelo projeto Rede InfoAmazonia e a partir desse caso, identificar e analisar os fatores relacionados à utilização de projetos tecnológicos de código aberto,

observando suas contribuições e relevância social e científica dentro das premissas da área das Ciências Ambientais.

Nesse contexto busca-se responder a seguinte questão: Como as tecnologias de código aberto podem contribuir para a análise e monitoramento dos recursos hídricos?

A hipótese da corrente pesquisada e elaborada preliminarmente, tem como base, que a utilização de sistemas de código aberto apresentam extensas contribuições para a análise e monitoramento de recursos hídricos, pois trazem consigo vantagens relacionadas a sua construção, funcionamento e manutenção, pouco observadas em tecnologias consolidadas.

Em termos sociais a abordagem do assunto é relevante pois o uso de tecnologias de código aberto, facilmente reaplicáveis, enquadram-se plenamente como tecnologias sociais, oportunizando ao cidadão comum, a construção de dispositivos que podem favorecer a obtenção de conhecimentos relacionados à saúde e à qualidade de vida. De mesmo modo, tecnologias de baixo custo também podem ser bastante atrativas ao pequeno empreendedor, podendo apresentar soluções viáveis para implementações de melhorias em processos produtivos artesanais e/ou familiares, como o exemplo do agronegócio familiar.

No contexto científico a discussão da temática é relevante pois o uso de projetos com tecnologias de código aberto pode viabilizar pesquisas a custos menores, através do favorecimento de procedimentos como coleta, armazenagem, tratamento e recuperação de dados através da utilização de sistemas que podem ser customizados às necessidades dos processos investigativos.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar os potenciais e desafios do uso de tecnologias de código aberto na análise e monitoramento de recursos hídricos.

2.2 Específicos

- Identificar elementos de estímulo social, relacionados ao aumento de projetos de código aberto.
- Investigar como as tecnologias de código aberto podem contribuir para a análise e monitoramento de parâmetros de qualidade da água.
- Analisar a possibilidade de utilização do sistema de código aberto, desenvolvido pelo projeto Rede InfoAmazonia, para a medição e monitoramento de parâmetros relacionados à qualidade da água.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A ciência aberta e colaborativa

Desde os períodos mais remotos da história da humanidade, o ser humano busca soluções que contribuam para a facilitação de suas atividades cotidianas. A necessidade de comunicação e de propagação de ideias, fez como que o homem buscasse métodos cada vez mais ágeis de interação. No princípio as ideias e descobertas eram compartilhadas ao passo que a comunicação alcançava os limites geográficos, com o advento da informatização, e mais recentemente da *internet* e das tecnologias digitais conectadas, as barreiras geográficas que limitavam a informação deixaram de existir. Dessa forma a sociedade passou a experimentar uma velocidade de comunicação infinitamente superior ao que antes estava acostumada. Lima Junior (2013) afirma que a sociedade vem se apropriando das tecnologias digitais conectadas, para as mais diversas finalidades, sendo observado uma crescente variedade de acesso a serviços de informação em diversas categorias, seja na área de conteúdo de relevância social ou de entretenimento.

A informatização e suas ferramentas de interação, trouxeram novas possibilidades e um novo cenário à ciência, promovendo evoluções na prática de produção e a disseminação do conhecimento científico. Esses avanços modificaram a velocidade com que a informação circula, modificando expressivamente a forma de atuação de muitas áreas. Os mais diversos campos das ciências passaram a reconhecer e valorar o envolvimento da sociedade através da participação colaborativa em processos antes fechados. Passou-se a observar, com maior frequência, projetos científicos utilizando o que veio a denominar-se de *Crowdsourcing*, que segundo Estellés-Arolas e González-Ladrón-de-Guevara (2012), pode ser definido como a utilização de multidões que agregam conhecimento de forma colaborativa para solução de problemas ou criação de produtos, e através desse método realizar mapeamentos de muitos locais ao mesmo tempo.

Deste modo a ciência tradicional passou a atuar de forma interativa, democratizando o conhecimento, abrindo caminho para uma geração de cientistas cidadãos que participam ativamente através de processos colaborativos em que seus atores beneficiam-se mutuamente, apoderando-se da informação disposta de forma aberta, e construindo novos conhecimentos, através do que pode-se denominar de movimento ou filosofia da ciência aberta ou *open science*.

Vicente-Saez e Martinez-Fuentes (2018) apresentam a definição de ciência aberta como, o conhecimento transparente e acessível que é compartilhado e desenvolvido através de redes colaborativas. Para os autores, esse é um fenômeno que está emergindo em todo o mundo e está relacionado a mudanças socioculturais e tecnológicas, baseadas na abertura de informações e conectividade, em como a pesquisa é projetada, realizada e avaliada. Afirmam ainda que o termo está relacionado a ferramentas abertas de dados, plataformas de acesso aberto, métodos abertos de revisão por pares e atividades de engajamento público, acrescentando tendências que podem potencializar os ciclos de pesquisas.

Portugal (2018) complementa esses conceitos, relacionando o termo ao papel social da ciência, afirmando portanto que a ciência aberta pressupõe o compartilhamento de informações e conhecimentos entre a comunidade científica, a sociedade e empresas, possibilitando desta forma ampliar o reconhecimento e o impacto social e econômico da ciência, reforçando o conceito de responsabilidade social científica. Para o autor, são pilares da ciência aberta, o acesso aberto a dados de investigação e a publicações científicas, a abertura dos métodos e ferramentas de investigação, processos de investigação colaborativos, a ciência cidadã e a inovação aberta.

Observa-se portanto que o termo ciência aberta apresenta-se como representativo a várias práticas e iniciativas que tem como objetivo principal desenvolver o conhecimento científico de forma mais transparente, com melhor aproveitamento do que já se possui, objetivando o alcance de novos e melhores resultados de forma mais eficaz.

Assim sendo, a ciência aberta passa a se apresentar como uma alternativa às limitações do regime conhecido como propriedade intelectual, destacando aspectos relacionados à produção e a distribuição de informação, pois acredita-se que a privatização de informações acaba por causar lentidão na difusão do conhecimento científico e, como consequência, da economia e da sociedade. Para DiBona, Ockman e Stone (1999, p. 10):

A ciência é em última instância uma empresa de código aberto. O método científico recai sobre um processo de descoberta e um processo de justificação. Para que os resultados científicos sejam justificados, eles devem ser replicáveis. A replicação não é possível a menos que a fonte seja compartilhada: a hipótese, as condições de teste e os resultados. O processo de descoberta pode seguir muitos caminhos, e às vezes as descobertas científicas ocorrem isoladamente. Mas em última análise, o processo de descoberta deve ser servido pelo compartilhamento de informações: permitindo que

outros cientistas avancem, onde não se pôde; polinizando as ideias dos outros para que algo novo possa crescer, que de outra forma não teria nascido.

O movimento ciência aberta congrega vários outros de inovação colaborativa, que associados ao uso de ambientes digitais, agregam forças e configuram um movimento de abrangência internacional em favor da ciência, designados como movimento código aberto, iniciativas *open source*, ou iniciativas de código aberto.

A origem do termo código aberto está intrinsecamente associado ao movimento *softwares* livres que ganhou maior visibilidade a partir da ação de grupos de programadores contra a política de *softwares* caros e de arquitetura fechada, decidindo então pela criação de *softwares* que poderiam ser livremente utilizados, reproduzidos, melhorados e redistribuídos sem serem taxados como pirataria.

O movimento *softwares* livres segundo Evangelista (2014), trata-se de uma iniciativa que surgiu nos Estados Unidos, em meio a popularização do uso dos computadores. É entendido como um movimento social, que tem como premissa a liberdade de acesso às tecnologias de *softwares* de forma livre e cooperativa, para utilização, modificação ou redistribuição entre usuários. Apesar de possuir subdivisões político ideológico que deram conceituações, abrangências e produtos diferenciados para suas atuações, como o *Open Software* que é visto como uma metodologia de desenvolvimento e o *Free Software* que assume uma perspectiva social, como meio de facilitar o acesso aos programas desenvolvidos, para o autor essas distinções operam somente no terreno da construção ideológica, mas convergem no mesmo objetivo comum, de arregimentar aliados para o trabalho social em benefício do movimento *software* livre como um todo.

3.2 As tecnologias eletrônicas no contexto do código aberto

Um dos pontos fundamentais ao movimento código aberto, está relacionado aos avanços ocorridos nas tecnologias eletrônicas, principalmente no desenvolvimento de componentes como processadores, sensores, até o surgimento dos microcontroladores, que em termos simples, encapsulou as funcionalidades de um computador dentro de um único componente. Esses avanços abriram novos e facilitados caminhos à manipulação da programação de projetos eletrônicos, tornando os projetos de *hardware* mais compreensíveis, acessíveis, de maior interesse e conseqüentemente gerando maior disponibilidade, intensificando-se assim, o surgimento de dispositivos dotados de sistemas embarcados com dimensões e custos reduzidos.

Segundo Dey e Mukherjee (2016), um sistema embarcado pode ser um sistema em tempo real que executa tarefas críticas. Geralmente presentes em dispositivos inteligentes, programáveis, com tecnologia incorporada, podendo consistir em dispositivos eletrônicos ou eletromecânicos, dotados de sensores que examinam o comportamento do mundo externo e enviam informações para microcontroladores embutidos, que processam, analisam e tomam decisões para execução de tarefas precisas.

Para facilitar o desenvolvimento de projetos e dispositivos baseados em sistemas embarcados, surgiram as plataformas de prototipagem eletrônica, que reuniram em uma placa de circuito impresso, o microcontrolador e outros componentes eletrônicos, que juntamente com seus *softwares* de ambiente de desenvolvimento possibilitam a programação de aplicações customizadas. Atualmente existem diversas plataformas de prototipagem eletrônica baseadas em microcontroladores programáveis, dentre as quais destacam-se, MBED, BeagleBone, Raspberry, Arduino, entre outras, que se popularizaram principalmente devido algumas de suas características como baixo custo, alta disponibilidade, facilidade de utilização e por serem em sua maioria projetos de código aberto. Essa pesquisa tratará especificamente sobre a plataforma Arduino, “uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar” (ARDUINO, 2018).

De aplicação ampla e modular, o Arduino é uma placa eletrônica que dispõe principalmente de um microcontrolador programável, conexões de entrada e saída digitais e analógicas para interligação a outros circuitos ou sensores (Figura 1), possibilitando dessa forma que seja utilizado para desenvolver objetos interativos de funcionamento independente ou conectado a outros dispositivos, a um computador, a uma rede local ou à Internet, podendo dessa forma captar, organizar e enviar dados. Mcroberts (2011) descreve o Arduino como um pequeno computador que pode ser programado para processar sinais de entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. Sua modularidade deve-se a possibilidade de conexão de diversos circuitos complementares denominados de *Shields* que possibilitam a expansão das funcionalidades da plataforma.

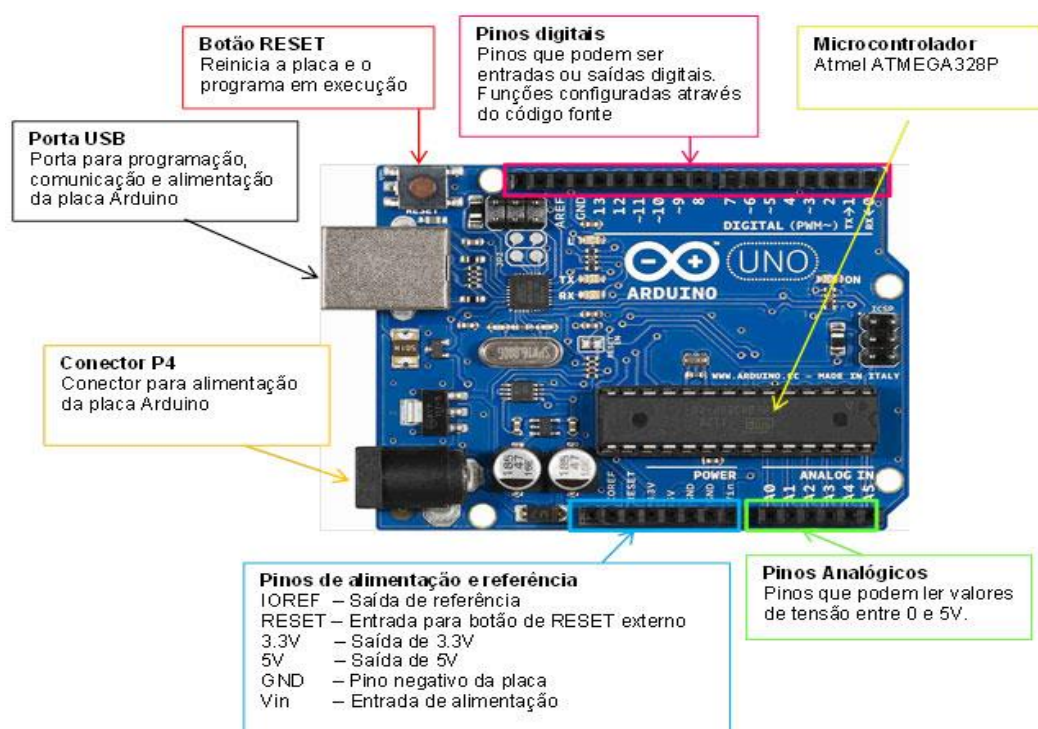


Figura 1 - Descrição dos terminais e principais componentes da placa Arduino UNO R3.
Fonte: Baú da Eletrônica, 2018.

Segundo Arduino (2018), a plataforma foi desenvolvida na Itália no ano de 2005, inicialmente pensada para o público estudante sem formação em eletrônica e programação, hoje é uma das plataformas de eletrônicas embarcada mais utilizadas em projetos que vão de simples objetos do cotidiano até complexos instrumentos científicos. Apesar do Arduino ser uma marca registrada da empresa Arduino AG, criadora e distribuidora desse *hardware*, a marca tornou-se a expressão mais utilizada para representação de produtos análogos à essa tecnologia.

A popularização da plataforma Arduino se deve em grande parte ao fato de seus produtos serem de código aberto, que possibilita sua adaptação ou mesmo a total replicação. Isso acabou por permitir o surgimento e ampla comercialização de produtos similares derivados de seu projeto e conseqüentemente sua grande oferta a custos menores em comparação à outras plataformas de prototipagem.

Assim como um computador, o Arduino necessita ser programado para que faça o que se espera, para isso existem *softwares* específicos, dentre eles o Arduino IDE, um *software* do tipo FOSS (*Free and Open source Software* ou *Software* Livre e de Código Aberto), disponível para instalação em multiplataformas computacionais. Com um ambiente voltado a programadores iniciantes e avançados, a ferramenta possibilita a escrita dos comandos reconhecidos pelo

Arduino e a gravação desses comandos em seu microprocessador. A linguagem de programação é baseada na linguagem C++, que de acordo com o índice da comunidade de programação TIOBE (2018), é uma das mais populares e utilizadas na atualidade.

Com a disposição cada vez maior de dispositivos eletrônicos de alto desempenho, plataformas eletrônicas intercambiáveis de código aberto e ainda a disponibilidade aberta e crescente de ferramentas de programação com bibliotecas de algoritmos altamente otimizados, intensificou-se o interesse pela utilização de dispositivos de código aberto desenvolvidos com a intenção de suprir as mais variadas demandas da sociedade, abrindo espaço para o campo dos projetos denominados *hardware* de código aberto, *open source hardware* ou simplesmente *open hardware*, que surge como um dos braços de ciência aberta.

Os projetos que assumem a definição de *hardware* de código aberto, caracterizam-se pela construção de artefatos físicos, geralmente projetos tecnológicos acessíveis livremente, podendo-se inclusive baixar o projeto construtivo com todos os detalhamentos de materiais, diagramas esquemáticos, layouts e todos os outros dados referentes ao *hardware*, permitindo a realização de mudanças operacionais e pessoais de forma livre.

Hardware de código aberto - às vezes abreviado como OSH ou OSHW - é um *hardware* cujos arquivos de origem estão publicamente disponíveis para qualquer pessoa usar, remanufaturar, redesenhar e revender. O movimento de *hardware* de código aberto, semelhante ao movimento DIY e *maker*, não é um conceito novo, mas sim uma revitalização de métodos históricos que foram substituídos à medida que a fabricação moderna veio à tona. A manufatura moderna produz *hardware* de maneira barata e eficiente (embora sufocada com limites legais) e, como resultado, criou uma cultura de consumo, ao invés de uma cultura DIY. Nos últimos 10 anos, o pêndulo começou a retroceder em favor de criar e consertar as coisas em vez de comprá-las (GIBB, 2014, p. 14).

Conforme citado, esse movimento não é novo, porém atualmente, com a diversidade de tecnologias de fácil utilização e disposição, e ainda a facilidade de troca de informações através da *internet*, cresce o número de entusiastas dessa prática, que estão desenvolvendo projetos de utilização doméstica e também ferramentas e instrumentos que podem ser utilizados em pesquisas científicas. Afirmação confirmada por Fisher e Gould (2012), que descrevem que os avanços nas tecnologias eletrônicas resultaram em uma variedade de capacidades de monitoramento e controle novas e baratas, que oferecem oportunidades de implementação em aplicações de pesquisa, dessa forma, o *hardware* de código aberto passou a ser uma alternativa de baixo custo para instrumentação científica e pesquisa.

Para Dey e Mukherjee (2016), estamos vivenciando uma época conhecida como revolução *open source*, em que melhorias tecnológicas estão sendo alcançadas através de plataformas de *hardware* e *software* de código aberto, citando como exemplo, os dispositivos de prototipagem rápida, que são ferramentas que se popularizaram nos dias atuais, devido à combinação dessas plataformas abertas.

3.3 As contribuições da *internet* para os avanços do movimento código aberto

Impulsionados também pela popularização da *internet*, os projetos de código aberto encontram nesse meio de interação a ferramenta ideal para seu crescimento, tanto pela facilitação da comunicação entre pessoas, quanto para possibilidade de controle de automatização de dispositivos físicos. Vazquez e Ipina (2008) descreveram que a *internet* impulsionaria a colaboração de pessoas, permitindo novas formas de intercâmbio de conhecimento e envolvimento em atividades sociais, e neste ponto, o paradigma da *Web 2.0*, também chamada de *Web Social*, contribuiu muito para essa conquista. De mesmo modo, Harris (2008) já descrevia conceitos relativos ao momento mais atual da *internet*, ao qual se está vivenciando, a *Web 3.0*, também chamada de *Web Inteligente*, que está possibilitando o desenvolvimento de tecnologias com o uso de inteligência artificial, mineração de dados, o uso da *web* semântica, e a implementação de aprendizado de máquinas.

Para Boulton et al. (2012), a *internet* fornece um canal para redes de cientistas profissionais e amadores colaborarem e se comunicarem de novas maneiras e abrirem caminho para uma segunda revolução científica aberta, tão grande quanto aquela desencadeada pela criação das primeiras revistas científicas. A expansão dessa rede traz benefícios com a agregação do expertise de seus colaboradores, que possibilita a maturação de projetos multidisciplinares, além de ser estímulo para a criação de novos projetos e o aumento da credibilidade na utilização dos projetos existentes.

Dessa forma, as redes sociais da *internet* foram o caminho encontrado para conseguir agregar o conhecimento de vários pesquisadores para à criação e o desenvolvimento de projetos locais e globais de comum interesse à essas comunidades. Objetivando auxiliar na organização e disponibilização das informações suscitadas entre os usuários dessa rede social focalizada no desenvolvimento aberto e colaborativo da ciência, passou-se a perceber os serviços de

repositórios eletrônicos, como ferramentas que poderiam auxiliar na disseminação da cultura da ciência aberta. Teoria reforçada por Perez-riverol et al. (2016, p. 1):

O surgimento de *software* aberto e código-fonte, juntamente com o desenvolvimento colaborativo concomitante, é facilitado pela existência de vários serviços de repositórios de código, como SourceForge, Bitbucket, GitLab e GitHub, entre outros. Esses recursos também são essenciais para projetos de *software* colaborativo porque permitem a organização e o compartilhamento de tarefas de programação entre diferentes colaboradores remotos.

Logo, plataformas digitais como a Public Lab e o GitHub, passaram a ser de grande relevância para a disseminação da ciência aberta, essas ferramentas são gratuitas para hospedagem de projetos de código aberto na *internet*, na qual pessoas do mundo todo podem contribuir simultaneamente, criando novos arquivos ou editando os existentes, sem que haja conflito de versões dos projetos. Nessas plataformas a ideia estimulada é a de uma rede de ciência aberta e colaborativa, em que é possível acessar projetos de relevância às mais diversas áreas do conhecimento.

O compartilhamento de dados é um requisito fundamental da ciência aberta, porém, a disponibilidade pública de pesquisas científicas, conjuntos de dados ou análises de dados que possam ser modificados por muitos colaboradores, passa pela necessidade fundamental de que se assegure a acessibilidade, replicabilidade das informações e a rastreabilidade das alterações de forma controlada. Atualmente existem diversos repositórios eletrônicos dedicados ao compartilhamento de dados, porém devido sua transparência no controle de versões, o GitHub ganhou destaque entre as plataformas que oferecem esse serviço. Lançada em 2008, originalmente para auxiliar no desenvolvimento colaborativo de *softwares*, a ferramenta logo ganhou a atenção de pesquisadores que passaram a utiliza-la para hospedagem, desenvolvimento e distribuição de dados científicos e projetos de código aberto das mais diversas áreas. Fato esse apresentado por Perkel (2016), que demonstra a intensificação de citações da ferramenta por artigos de pesquisa de diversas áreas (Figura 2).

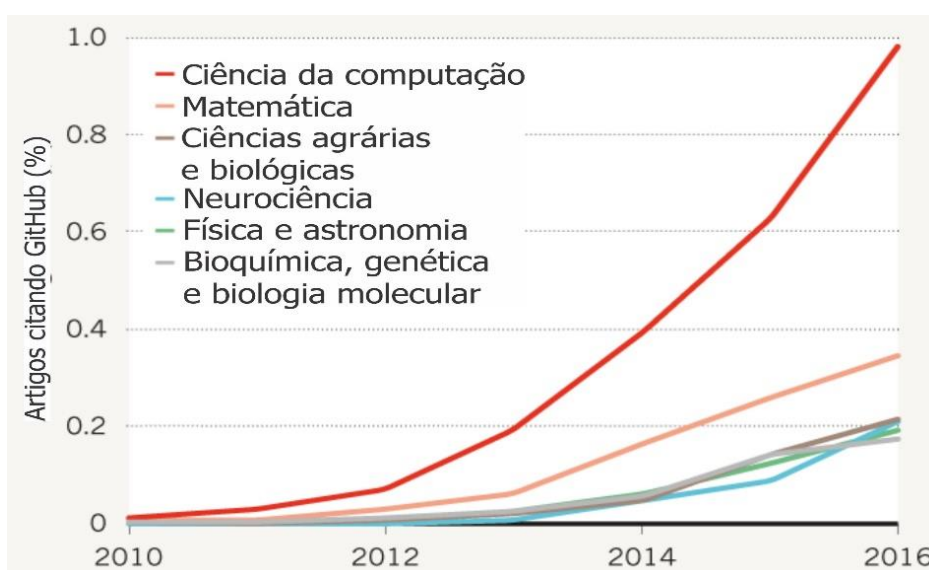


Figura 2 - Influência da plataforma GitHub por áreas de conhecimento.

Fonte: Adaptado Perkel, 2016.

O gráfico demonstra que a plataforma GitHub tem alta relevância não apenas para a área de *softwares* a qual foi idealizada, mas também vem ganhando importância para áreas como a matemática, ciências agrárias e biológicas entre outras.

Segundo GitHub (2019), até janeiro de 2019 a plataforma passou a dispor de mais de 31 milhões de usuários e 100 milhões repositórios, números que vem a reforçar seu título como uma das maiores comunidades de código aberto do mundo. A empresa foi comprada em junho de 2018 pela gigante Microsoft.

Outra inovação que vem entusiasmando especialistas de diversas áreas, está relacionado aos avanços ocorridos nas tecnologias digitais, que impulsionaram a interconexão do meio físico com os meios digitais, em especial à *internet*, abrindo caminho para um novo paradigma tecnológico, a era dos dispositivos IoT.

A *internet* das coisas ou *Internet of Things* – IoT é uma das tecnologias emergentes que vem atraindo atenção de vários segmentos dentre eles o da pesquisa acadêmica. O termo "Internet das Coisas" descreve uma área com tremendo potencial; onde novas tecnologias de sensoriamento e comunicação, juntamente com seus cenários e aplicativos de uso associados, estão impulsionando muitos novos projetos de pesquisa e modelos de negócios (FLOERKEMEIER, 2008).

Devido à possibilidade de adequar dispositivos físicos para interação com a *internet*, pesquisadores vem utilizando essa ferramenta para transmissão e registro de dados, através de dispositivos que interagem com o meio e transmitem essas informações pela *internet*. Esse tipo de tecnologia vem revolucionando pela sua capacidade de automação de processos, pela velocidade na geração e disponibilização de dados e pela sua relação direta com áreas de grande interesse social como o meio ambiente.

Ng e Wakenshaw, (2017) descrevem que os projetos de IoT podem envolver um grande número de dispositivos, sensores, interfaces de comunicação, interação e aplicativos aptos a gerar, coletar, analisar e aplicar volumosos, detalhados e valiosos dados, não apenas sobre suas operações, mas também sobre o ambiente em que operam, possibilitando a capacidade de perceber, registrar e interpretar o que está ocorrendo nos objetos e no mundo.

Deste modo tem-se observado o crescimento no número de novos projetos de dispositivos construtivos de código aberto associados à pesquisas científicas. A explicação desse fenômeno, em grande parte está relacionado à evolução das tecnologias digitais, a popularização de plataformas de prototipagem com eletrônica embarcada, aos avanços relacionados à *internet*, com a possibilidade de interconexão de dispositivos que interagem com o meio, à percepção dos repositórios de projetos abertos como potenciais redes sociais de pesquisas. Para demonstrar essa relação de interesse evolutiva, foram realizadas buscas utilizando a ferramenta Google Trends e alguns dos termos apresentados nesta pesquisa, que entende-se como representativos e caracterizadores desse movimento, gerando o gráfico abaixo (Figura 3).

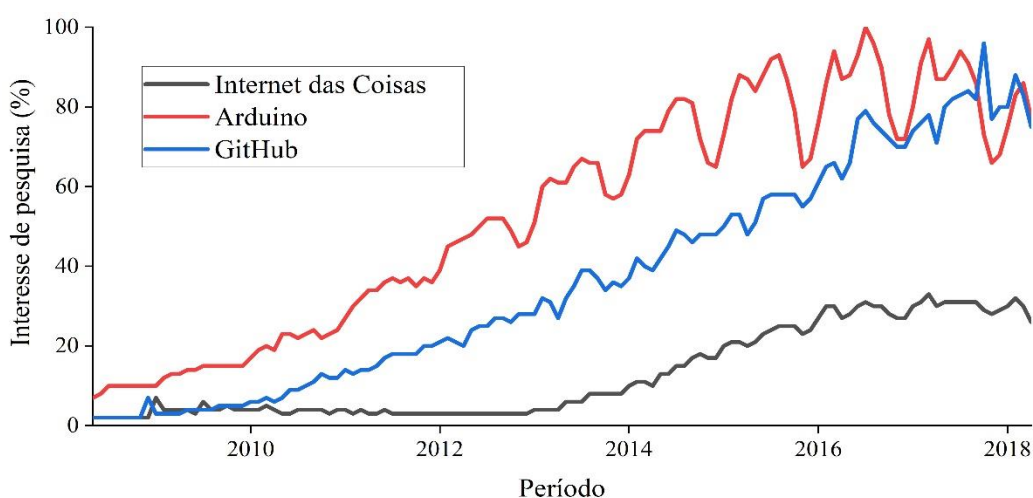


Figura 3 - Interesse de pesquisas pelos termos ao longo do tempo
Fonte: Google Trends, 2019.

O gráfico demonstra os registros de buscas na *internet* pelos três termos pesquisados. A observação corresponde ao período de janeiro de 2009 a dezembro de 2018 e a abrangência é mundial. Os dados da Google ilustram que desde 2009 há registros na ferramenta de pesquisas na *internet*, que demonstram o interesse pelos termos pesquisados, demonstrando ainda, forte tendência de continuidade e aumento de pesquisas pelos termos, reforçando a afirmação de que são tecnologias que vem se destacando e estão frequentemente presentes na atualidade.

3.4 Características de projetos de código aberto

A terminologia *open source* apesar de preconizar uma relação direta com o desenvolvimento de *softwares*, vem sendo adotada por diversas áreas para designar projetos de desenvolvimento aberto, e tem como pilar fundamental o compartilhamento de conhecimentos. Porém para que se considere um projeto como sendo de código aberto, ele deverá apresentar elementos que assim o caracterizem. Entre os principais elementos necessários a um projeto de código aberto estão a documentação, a distribuição e a licença.

A documentação de um projeto de código aberto é o que possibilita sua compreensão, reprodutibilidade e implementações de melhorias. A licença aberta de *hardware* do CERN, que é uma licença utilizada em muitos projetos de código aberto, define a documentação de um projeto de código aberto como:

“Documentação” significa diagramas esquemáticos, desenhos, layouts de circuito ou placa de circuitos, desenhos mecânicos, fluxogramas e texto descritivo, e outro material explicativo que é explicitamente declarado como sendo disponibilizado sob as condições desta Licença. A documentação pode estar em qualquer meio, incluindo, entre outros, arquivos de computador e representações em papel, filme ou qualquer outra mídia (CERN, 2019, p. 1).

A documentação portanto, é o que irá possibilitar que usuários ou desenvolvedores possam utilizar e colaborar com os projetos de código aberto. Se um projeto não disponibiliza uma documentação completa, detalhada, com código de boa compreensão em repositórios abertos, que possibilitem sua reprodução, dificilmente receberá contribuições para sua melhoria. Portanto a documentação é um item essencial ao sucesso, evolução e longevidade dos projetos de código aberto. Informação ratificadas por OSHWA (2019) que propõe boas práticas para o desenvolvimento e a utilização de projetos de código aberto, descrevendo que quanto mais arquivos de documentação o projeto contiver, com detalhamentos que auxiliem sua utilização,

maiores serão os benefícios advindos da comunidade colaboradora e maior será o interesse pela utilização do projeto.

Mesmo sendo um item fundamental a sua caracterização, frequentemente encontram-se projetos intitulados como código aberto, mas que apresentam documentação pouco explicativa e incompleta, questão reafirmada por Dryden, et. al (2017), ao alegarem que uma observação comum em artigos científicos é uma menção superficial de *softwares* ou *hardwares* personalizados, sem código fonte e ainda, pouca ou nenhuma descrição para aprender e usar essas ferramentas, deixando incompleta a conexão com os usuários finais. Portanto esse ponto é um dos principais desafios para a continuidade ou avanços nas pesquisas que envolvam esse tipo de tecnologia.

A distribuição de um projeto de código aberto é o que torna possível que ele seja conhecido, utilizado e desenvolvido por várias pessoas. Os projetos de código aberto devem estar disponíveis de forma facilitada, normalmente em meio eletrônicos, podendo estar disponíveis para *download* em um *site*, porém o mais adequado é que estejam hospedados em repositórios eletrônicos para que além da acessibilidade aos arquivos, haja também a possibilidade da inclusão de modificações e melhorias por colaboradores interessados.

Outro elemento também pertencente à documentação e de fundamental importância aos projetos de código aberto, são as licenças de código aberto. A licença de um projeto de código aberto é um elemento essencial para proteger sua identificação e utilização como projeto aberto. O projeto terá que conter uma licença que explicita de forma clara a permissão para utilização, cópia, construção, modificação distribuição, e venda dos projetos que se basearam nos arquivos publicados por um autor. Ayass (2019), afirma ainda que, ao utilizar projetos de código aberto, se modificações forem feitas e distribuídas, deverão estar sob as mesmas condições de licença, garantindo que toda a comunidade continuará a se beneficiar das melhorias, possibilitando ainda a realização de novas modificações por outros interessados no projeto.

Todos esses conceitos apresentados, estão presentes neste trabalho com a intenção de demonstrar que vivencia-se um período de intensa relação entre áreas antes isoladas. A interdisciplinaridade entre áreas a exemplo das tecnológicas, sociais e humanas entre outras, estão proporcionando projetos de dispositivos inteligentes, que buscam facilitar processos, com base em informações instantâneas, coletadas na interação com o meio ao qual estão expostos,

avaliando e realizando ações autônomas que afirmam como necessárias ao alcance de melhores condições para seu funcionamento ou para a relação do homem com o meio ambiente. Lima Junior (2016) afirma que a interdisciplinaridade sempre esteve presente em vários momentos importantes das descobertas científicas e devido a intensificação da complexidade dos diversos sistemas pensados pelo ser humano vem ganhando maior relevância em congressos e eventos científicos em todas as áreas de conhecimento. Para exemplificar a intensificação e relevância da utilização de projeto de código aberto dentro do mundo científico, serão apresentados na sequência, casos de projetos que corroboram com esses conceitos de interação entre ciência, sociedade e sistemas tecnológicos inteligentes focalizados em alternativas de proteção ambiental.

3.5 Casos de projetos de código aberto para análise e monitoramento ambiental

Os dispositivos que utilizam tecnologias de código aberto podem ser empregados para as mais diversas finalidades, entre as quais serão evidenciados nesta seção, iniciativas que tenham como objetivo a análise e monitoramento ambiental.

Um dos projetos de grande relevância que vem colaborando para o desenvolvimento de diversos estudos de avaliação ambiental é o denominado projeto *Smart Citizen*. Uma plataforma de análise ambiental para geração de dados em processos participativos da população. O projeto é uma plataforma de código aberto que agrega *hardware* e *software* de código aberto. O *hardware* foi construído em plataforma Arduino, dotado de sensores capazes de medir os níveis de poluentes do ar como monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio (CO e NO₂), pressão barométrica, temperatura, umidade, intensidade da luz e níveis sonoros e enviar essas informações, juntamente com sua geolocalização, via conexão a *internet* para um servidor ou aplicativo de *smartphone* (SMARTCITIZEN, 2018).

Projeto semelhante foi desenvolvido por Ali et al. (2016), através de um projeto de código aberto de sensores e registradores de dados que utilizam a plataforma Arduino como base de desenvolvimento. Projetado para medir parâmetros ambientais em edifícios, que incluem temperaturas de ar e de superfícies, umidade relativa do ar, ocupação humana, intensidade de luz, concentrações de CO e um registrador de dados que pode registrar informações de uma variedade de outros sensores, como sensores de pressão diferencial. Segundo o autor, o objetivo principal é permitir maior flexibilidade na sincronização de um grande número de medições,

com alta resolução espacial e temporal, de maneira econômica e que possa ser utilizado em projetos de pesquisa e eventualmente na automação e controle predial.

Outra aplicação, refere-se a um sistema baseado em microcontroladores de baixo custo para monitoramento da temperatura da vegetação e o estado da água. Esse sistema foi elaborado e desenvolvido para automatizar a mensuração e a verificação da temperatura do dossel (estrato superior das árvores), da atmosfera e do solo e o nível de umidade em terras cultivadas. Esse sistema tem como base um circuito que é gerido e controlado por um microcontrolador com elementos para manusear o relógio/calendário e a energia do sensor com a finalidade de armazenamento e recuperação de informações. Dispondo de sensores, analógicos e digitais capazes de avaliar a umidade do solo, medir adequadamente a temperatura tanto de forma digital quanto analógica e um termômetro infravermelho digital de fácil aquisição e de baixo custo (FISHER; KEBEDE, 2010).

Projeto com características semelhantes também foi apresentado por Bitella et al. (2014), através de uma plataforma de código aberto de baixo custo que realiza medições de parâmetros ambientais, incluindo umidade do solo e temperaturas do ar e do solo, o dispositivo foi elaborado com a finalidade principal de automatizar e aprimorar sistemas de irrigação na agricultura.

Igualmente importante a iniciativa que desenvolveu um sistema fotométrico de código aberto para quantificação enzimática de Nitrato. Desenvolvido por Wittbrodt et al. (2015), o equipamento é basicamente um fotômetro capaz de analisar a concentração de Nitrato e Nitrito em amostras de água, as informações coletadas são enviadas para um aplicativo instalado em *smartphone*.

Há ainda a iniciativa apresentada por González, Pérez e Knochen (2016) de um sistema analítico automático e de baixo custo para determinação de fósforo em efluentes. O equipamento emprega detecção fotométrica com base na formação de ácido molibdovanadofosfórico. O sistema é composto por um circuito de fluidos dotados de três micro bombas solenoides e um sistema de detecção fotométrica de fotodiodo LED e uma placa Arduino Uno que controla todo o sistema.

Essas são apenas algumas das várias ações científicas envolvendo tecnologias de código aberto, ratificando sua crescente utilização e demonstrando seu potencial de aplicabilidade nas mais diversas áreas de pesquisa, evidenciando dessa forma a relevância de seu estudo e aproveitamento na área das ciências ambientais.

3.6 Recursos hídricos

Ao longo dos últimos séculos, as grandes massas de água foram consideradas como recursos de natureza inesgotáveis, capazes de fornecer saúde e qualidade de vida à população, capazes inclusive de receber e absorver quantidades ilimitadas de rejeitos provenientes das atividades humanas. Porém, com o crescimento acelerado da população, a urbanização das cidades, o desenvolvimento industrial e a expansão das áreas agrícolas, as fontes disponíveis de água estão comprometidas ou correndo risco por causa principalmente da poluição que afeta os principais mananciais hídricos (ANA 2005).

De acordo com o relatório das Nações Unidas (UN WATER, 2018), mundialmente a exploração e deterioração dos recursos hídricos tem alcançado níveis alarmantes cujas repercussões tem a tendência de se agravarem, caso o monitoramento, controle, preservação da água não sejam itens estratégicos nas discussões promovidas pelas nações.

As recentes ocorrências de escassez de água e desastres ecológicos, com altos impactos ambientais e sociais, vem demonstrando a necessidade de maior atenção e mobilização de entidades governamentais e não-governamentais em torno da urgência de se criar mecanismos que venham a garantir maior controle, segurança, sustentabilidade e qualidade da herança hídrica existente no planeta. Sobre essa questão Ribeiro (2017) descreve que os países devem executar uma gestão correta do recurso hídrico, garantindo a segurança hídrica como condição essencial a uma economia sustentável, à defesa contra ameaças sociais e ambientais, minimizando os efeitos e possibilidades de crises hídricas futuras.

É preciso acrescentar que a carência de água de qualidade constitui um desafio ambiental considerável, a situação é tão preocupante que atualmente, cerca de 2,1 bilhões de pessoas no mundo não conseguem ter acesso a água de qualidade para o consumo ou atividades diárias (WHO; UNICEF, 2017). Esse número representa a quantidade de pessoas que consomem água

não tratada, de fontes como poços, rios, lagos e água da chuva. A maioria dessas residem em áreas rurais e, não dispondo de ferramentas que possam aferir as características da água, estão muito mais suscetíveis ao acometimento de doenças relacionadas ao consumo de água contaminada, passando a contribuir com a estimativa da Organização Mundial da Saúde, que descreve que somente no ano de 2016 morreram no mundo cerca de 870 mil pessoas em decorrência de fatores como água contaminada, saneamento inadequado e falta de higiene (WHO, 2018).

Compreende-se assim, que a preservação da vida tem relação direta com a proteção e preservação dos recursos hídricos, e que ações de gestão e controle desses recursos só serão possíveis através do amplo acompanhamento dos parâmetros relacionados ao estado atual deste bem em relação às suas características de equilíbrio natural.

3.6.1 Legislação brasileira sobre poluição hídrica

A preservação do bem hídrico depende fundamentalmente de bons e atuais dispositivos legais e institucionais que objetivem a adequada gestão racional desses recursos, nesse contexto, esta seção descreve de forma resumida, alguns dos principais dispositivos ou orientações legais que tratam do uso, proteção e preservação dos recursos hídricos no Brasil.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) é um dos fundamentos legais para se compreender a responsabilidade civil efetiva do Estado e da sociedade frente a questões como a poluição das águas. Assim, a Carta Magna é o documento que define normas legais supremas e, por isso mesmo, deve ser considerada como a diretriz legal, que é soberana em relação a todas as outras estabelecidas, denominadas infraconstitucionais.

O art. 225 da Constituição Federal traz um destaque abrangente ao meio natural por discorrer a respeito de todos os aspectos sócio jurídicos que o tornam um bem de extrema relevância para o homem. Inicialmente esse artigo especifica que:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, p. 170).

Neste contexto é possível compreender que o meio ambiente equilibrado e saudável, incluindo-se o bem hídrico, é um direito não particular, pois se estende a toda a sociedade, assim como o dever de preservá-lo e cuidar para que esteja livre de quaisquer ameaças, uma vez que é bem de uso comum.

A Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), conhecida como Lei das Águas do Brasil, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que visa garantir o direito de todos os brasileiros ao acesso à água, deu origem ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), um dispositivo de planejamento e gestão democrática que integra as três esferas públicas e a sociedade civil nos debates e definições de ações que envolvam os recursos hídricos que atravessam mais de um Estado ou fazem fronteira. A lei está baseada em princípios fundamentais dentre os quais definem a água como bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, de uso prioritário para o consumo humano e a dessedentação de animais. Define ainda que a gestão desses recursos deve sempre proporcionar seu múltiplo uso e contar com participação do poder público, usuários e comunidades.

Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), é possível encontrar a classificação das águas e seus respectivos níveis de qualidade, definindo valores recomendados para parâmetros e indicadores específicos de acordo com seus usos preponderantes. Dentre os objetivos desse dispositivo, está a preservação do bem hídrico, a saúde e bem estar humano e conseqüentemente o adequado equilíbrio ecológico, pois considera-se que o controle desses fatores podem ser melhor adequados quando os níveis de qualidade exigidos, para um determinado corpo d'água ou seus diferentes trechos, estão de acordo com os usos que se pretende dar a esses recursos.

De igual importância estabeleceu-se a Lei do Saneamento Básico 11.445 (BRASIL, 2007), que em termos objetivos, estipula a universalização dos serviços de abastecimento de água e do sistema de esgoto, o que inclui o serviço de drenagem de águas pluviais e também a coleta e tratamento dos resíduos sólidos com vistas a proteger a saúde pública da população. Essa lei se tornou um marco, pois estabeleceu a necessidade de transformações nas políticas de sustentabilidade ambiental, principalmente no que tange ao saneamento básico, que por sua vez envolve o cuidado com os recursos hídricos administrando-se os serviços prestados à população.

Outra legislação específica sobre a regulamentação dos recursos hídricos é a Portaria nº 2.914 BRASIL, 2011), consolidada pela Portaria de nº 5/2017, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), que dispõe sobre os processos e ações que devem ser direcionados para que se mantenha constante vigilância e controle da qualidade da água para o consumo da população. Esse dispositivo realça a importância de se manter os índices que permitem a manutenção de um padrão de potabilidade que vise promover a saúde humana.

3.6.2 Parâmetros de qualidade da água

A qualidade da água é representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis. Sua natureza pode ser física, química e/ou biológica. São os chamados parâmetros de qualidade da água, ou seja, “substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade de água”. Tais características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinados usos da água (MACHADO; TORRES, 2012).

Para cada parâmetro foram definidos os padrões de referência. O padrão é portanto o “valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente” (CONAMA, 2005).

Em um sistema de gerenciamento da qualidade de água eficaz, os parâmetros devem ser monitorados em intervalos de tempo apropriados, para assegurar que estejam dentro de padrões adequados à saúde. A exemplo dos fornecedores de água potável, que necessitam realizar esse monitoramento operacional em tempo hábil para certificar que cada medida de controle esteja em conformidade.

Conforme a Organização Mundial da Saúde:

Os parâmetros selecionados para o monitoramento operacional devem refletir a eficácia de cada medida de controle, fornecer uma indicação oportuna do desempenho, ser facilmente medidos e fornecer oportunidade para uma resposta apropriada. Os exemplos incluem variáveis mensuráveis, como resíduos de cloro, pH e turbidez, ou fatores observáveis, como a integridade de telas à prova de vermes (WHO, 2008, p. 68).

São vários os parâmetros adotados para verificação, controle e gestão da qualidade das águas. Segundo a ANA (2005), em 1970 a *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, definiu parâmetros mínimos para essa determinação, denominando de Índice de Qualidade das

Águas (IQA). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta superficial, visando seu uso para o abastecimento público. Esse índice, foi adotado por diversos órgãos de controle, inclusive no Brasil, desde 1975 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). É composto por nove parâmetros físico-químicos da água, sendo: Coliformes fecais, pH, Demanda bioquímica de oxigênio, Nitrogênio total, Fosforo total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total, Oxigênio Dissolvido, cada parâmetro tem um respectivo peso para composição do índice e um valor de qualidade obtido em função de sua concentração. Segundo a agência, o IQA é um dos principais índices de qualidade da água utilizado no Brasil.

A seguir serão abordados os parâmetros que serão observados nessa pesquisa. Torna-se fundamental esclarecer a relação desses parâmetros no controle da qualidade das águas pois estão diretamente relacionados com as funções desempenhadas pelo sistema de código aberto avaliado.

3.6.2.1 Temperatura da água

A temperatura é um parâmetro físico que faz referência à intensidade de calor da água, refletindo seu grau de aquecimento. Ela tem influência sobre vários outros parâmetros físico-químicos da água e pode afetar organismos aquáticos que possuem baixa tolerância térmica, ocasionado impactos significativos.

Um conceito apropriado sobre a temperatura apresentado por Pinto (2007), descreve que a temperatura é a medida da intensidade de calor expresso em uma determinada escala. Uma das escalas mais usadas é grau centígrado ou grau Celsius (°C). A temperatura pode ser medida por diferentes dispositivos, como termômetro analógicos ou sensores digitais.

Cunha (2000) relata que a temperatura possui uma influência considerável nos outros parâmetros físico-químicos da água, principalmente na viscosidade e na tensão superficial. Uma vez que se compreenda esse pressuposto então passa-se a entender também que os organismos que compõem o ambiente hídrico (organismos aquáticos em geral) são influenciados e sofrem interferência tanto na sua reprodução quanto em seu crescimento por temperaturas que extrapolam os limites do que são capazes de tolerar termicamente.

A temperatura dos mananciais hídricos são permanentemente influenciadas por agentes naturais, como transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo), de forma sazonais e diurnas, que modificam sua temperatura frequentemente, e com valores variáveis. Nesse sentido, a temperatura na superfície sofre impactos que dependem da vazão, profundidade, período do dia, estação do ano, altitude e latitude (ANA, 2005).

Compreende-se assim que as oscilações na temperatura constituem aspectos centrais do processo climático natural, logo não há como fugir ao fato de que, em maior ou menor proporção, todos os elementos são suscetíveis as variações na temperatura na extensão de um dia ou mesmo nos períodos e estações do ano.

Porém, ações antropogênicas também podem repercutir perigosamente nas propriedades hídricas. Lançamento de efluentes das mais variadas composições e com temperaturas distintas pode resultar em impactos consideráveis em porções significativas de água, incluindo-se aqui características como oxigênio e densidade, que estão diretamente relacionados a biota aquática.

Sperling (2005) afirma que elevações da temperatura aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade de gases (ex: oxigênio dissolvido) e aumentam a taxa de transferência de gases (podendo gerar mau cheiro).

Portanto, elevações da temperatura aumentam a taxa de transferência de gases, intensificando aspectos como o cheiro e o próprio sabor, que podem ser resultantes de poluição advindas das indústrias ou de fontes naturais, como vegetação em decomposição ou mesmo algas que sofrem o processo de degeneração físico-química também influenciadas pela temperatura.

3.6.2.2 O potencial hidrogeniônico (pH)

É um importante fator químico que representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas de uma solução aquosa. Através da interpretação do pH é possível obter importantes informações sobre processos químicos e biológicos dos corpos de água.

Ao se conceituar o pH, Funasa (2014, p. 20) informa que:

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺).

É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos.

A figura 4 ilustra a tabela de pH em função da escala antilogarítmica de concentração de íons de hidrogênio.



Figura 4 - Tabela de pH.
Fonte: Adaptado de Press e Press (2018).

Para Esteves (1998), o pH pode ser considerado como uma das variáveis ambientais de grande importância e ao mesmo tempo uma das mais difíceis de se interpretar. Esta complexidade na interpretação dos valores de pH se deve ao grande número de fatores que podem influenciá-lo.

O pH pode sofrer influências de ações naturais operadas por vários fatores, dentre os quais pode-se citar a temperatura, a fotossíntese, a dissolução de rochas e a oxidação de matéria orgânica. De mesma forma, ações antropogênicas como despejos domésticos e industriais, tem frequente relação com sua alteração. Assim, as variações desse parâmetro podem ser um importante indicador de perturbações que possam ocorrer nos corpos d'água (SPERLING, 2005).

De acordo com Cunha (2000), o pH é um parâmetro chave para determinação da qualidade da água pois está intimamente relacionado com produtividade microbológica dos sistemas aquáticos, sendo dessa forma, um importante indicador da viabilidade da vida aquática e de aplicações da água.

O pH pode ser medido pelos seguintes métodos:

Método Colorimétrico: Método simples para determinação da concentração de hidrogênio em uma solução. Esse método de medição baseia-se na mudança de cor de certas substâncias naturais ou sintéticas, quando entram em contato com soluções ácidas ou alcalinas. Após essa reação é realizada a comparação da cor obtida na amostra com o escalas pré-definidas. Uma das desvantagens desse método é a imprecisão. Para Richter e Netto, (1991) o método colorimétrico não deve ser usado em águas turvas ou coloridas e contendo traços de alguns elementos que podem causar interferência, distorcendo os resultados.

Método Eletrométrico: Método que utiliza a diferença de potencial elétrico entre dois eletrodos, um eletrodo indicador e um eletrodo de referência, determinando a atividade iônica do hidrogênio a partir da diferença de potencial entre os dois eletrodos. Considerando a economia e praticidade, atualmente estão disponíveis sondas de eletrodo combinado, que agregam em uma única estrutura os eletrodos indicador e de referência (Figura 5).

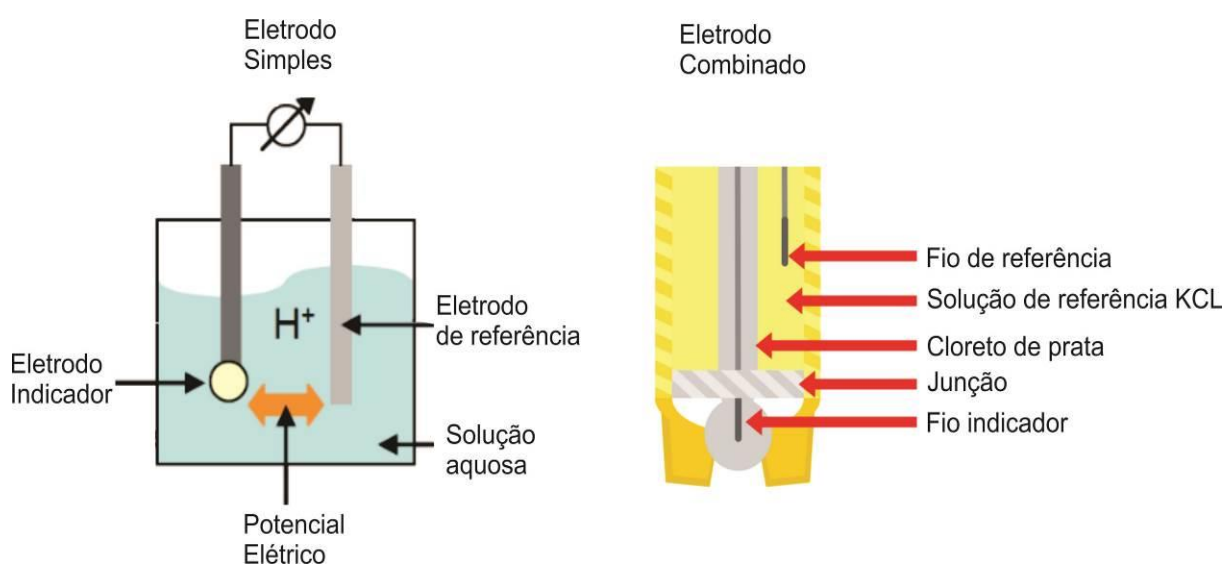


Figura 5 - Características dos eletrodos/sondas de pH.

Fonte: Adaptado de Lambrou (2011), adaptado de Press e Press (2018).

A sonda de pH mede a atividade do íon hidrogênio no líquido. Segundo Press e Press (2018), na ponta de uma sonda de pH há uma membrana de vidro que mede a quantidade de íons de hidrogênio do líquido que atravessam a camada externa do vidro, enquanto os íons maiores permanecem na solução. A diferença na concentração de íons de hidrogênio fora e dentro da sonda, cria uma diferença de potencial elétrico, que é medido por um equipamento potenciométrico e convertido para uma escala de pH, proporcional à concentração de íons de hidrogênio no líquido que está sendo medido.

No Brasil, o Ministério da Saúde, através da portaria 2.914 (BRASIL, 2011), em seu artigo 39, § 1º recomenda que, nos sistemas de distribuição de água para consumo humano, o pH seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

3.6.2.3 A condutividade elétrica (EC)

Quando se avalia o parâmetro relacionado à condutividade elétrica ou condutância específica (EC) percebe-se que este representa um aspecto físico que é possível mensurar a partir do instante em que se determina a possibilidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica onde há a presença de íons. Segundo CETESB (2017), essa capacidade depende das concentrações iônicas e da temperatura, e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes.

Estando a condutividade diretamente relacionada à temperatura da água, suas medições devem ser acompanhadas da temperatura na qual foi medida. Para propósitos comparativos de dados de condutividade elétrica, deve ser definida uma das temperaturas de referência (20 °C ou 25 °C) (PINTO, 2007).

A condutividade elétrica é medida em Siemens por metro (S/m), porém, em medições realizadas em amostras de água, utiliza-se preferencialmente microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm). Apesar da legislação vigente não estabelecer limites legais para esse parâmetro, para CETESB (2017), valores de condutividade elétrica superiores a $100\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. A ilustração abaixo (Figura 6) demonstra a condutividade de algumas amostras comuns.

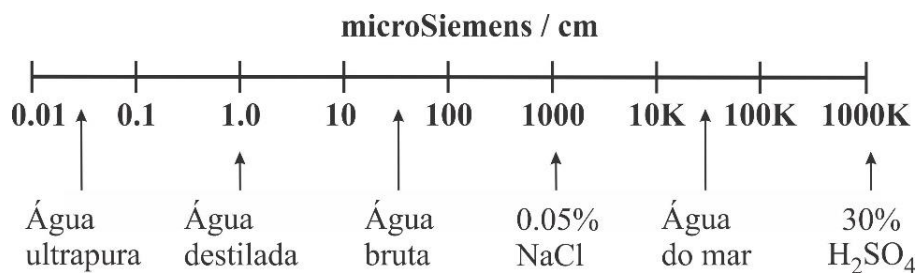


Figura 6 – Condutividade de amostras comuns.
Fonte: Adaptado de Down e Lehr (2004).

A medição da condutividade elétrica na água tem intensa aplicação em áreas como aquicultura, hidroponia e sistemas de tratamento de água, podendo indicar a quantidade de nutrientes, sais e impurezas dispostas na solução avaliada. Para a realização da análise de condutividade elétrica, utiliza-se medidores tipo condutivímetro que detectam a corrente elétrica circulante entre dois eletrodos dispostos próximos. Soluções com muitos sais em suspensão possuem maior capacidade de condução de corrente elétrica, dessa forma, valores elevados de condutividade indicam muitos sólidos dissolvidos na água. Logo a condutividade é um forte indicador de modificações na composição da água.

3.6.2.4 O potencial de oxidação/redução

O potencial de oxidação-redução, também conhecido como ORP (*Oxydation Reduction Potential*), ou REDOX, é o parâmetro que refere-se às reações de transferência de elétrons em um dado meio e consequente estabelecimento da espécie química predominante (JARDIM, 2014). Para Hage e Carr (2012, p. 232):

A oxidação é um processo no qual uma substância química perde um ou mais elétrons tornando-se oxidada. A redução é um processo no qual uma substância química ganha um ou mais elétrons tornando-se reduzida. A oxidação deve sempre ocorrer quando há redução, e a redução está sempre presente durante a oxidação, e por isso uma redução que envolve ambos os processos é chamada de reação de oxidação-redução ou (reação redox) [...] também são conhecidas como reações eletroquímicas, que podem ser definidas como reações que envolvem a troca de elétrons entre as substâncias químicas.

Em soluções aquosas, o ORP representa a medição da tendência da solução em ganhar ou perder elétrons quando sujeita à mudança pela introdução de uma nova espécie. Por se tratar de um parâmetro que está relacionado a processos de desinfecção da água, a pesquisa e avaliação de ORP é uma técnica de monitoramento operacional altamente desejável (WHO, 2008).

As condições de ORP geralmente estão relacionadas e são influenciadas pela química e bioquímica da água. Em ações de desinfecção da água, parâmetros como pH, condutividade, turbidez, entre outros, necessitarão ser monitorados para se alcançar um ponto de ORP constante e evitar a utilização excessiva de desinfetantes.

Pode-se ainda citar sua relação direta com o oxigênio dissolvido. Altos teores de oxigênio dissolvido em corpos d'água, normalmente indicam um alto valor de ORP, implicando uma

reação de caráter oxidante, assim como baixas concentrações de oxigênio, ou sua ausência, indicam a predominância de processos redutivos e conseqüentemente valores negativos de ORP.

Dessa forma, o teor de oxigênio dissolvido em corpos d'água é um dos parâmetros que pode indicar a existência de contaminação por processos de decomposição. Para FUNASA, (2014), a matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas, que é a redução na concentração de oxigênio dissolvido em decorrência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização dessa matéria.

Assim, concentrações altas de matéria orgânica geralmente conferem caráter redutivo à água tendo em vista o consumo de oxigênio por processos de decomposição. De mesmo modo, medidas de valores altos de ORP indicam alto teor de oxigênio na água, significando que as bactérias que decompõem os contaminantes estão trabalhando de forma eficiente. Portanto pode se considerar o ORP um bom indicador da capacidade que um corpo d'água tem em purificar-se ou degradar resíduos provenientes de contaminantes.

Por se tratar da medida de transferência de elétrons em um meio, o ORP pode ser medido por sensores potenciométricos de modo similar às medidas de pH, imergindo na amostra dois eletrodos, sendo um eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência ou ainda um único eletrodo combinado, para determinação da diferença de potencial entre ambos. Seus valores são medidos em milivolt (mV).

Pesquisas como as de Suslow (2004) demonstram que em processos de desinfecção da água, medidas de ORP entre 650 a 700 mV são suficientes para garantir a destruição de organismos e patógenos como E. coli, Salmonella, Listeria e coliformes termotolerantes, em poucos segundos. Demonstrando, portanto, a importância no monitoramento desse parâmetro para o tratamento da água, afirmação ratificada por Jardim (2014) que descreve que as medidas relacionadas ao potencial REDOX assumiram relevância significativa no monitoramento ambiental, a ponto de passar a ser parte compositiva da relação de parâmetros que são requeridos para que se proceda uma avaliação mais apurada dos sistemas de monitoramento.

3.6.3 *Análise eletroquímica*

Os sensores eletroquímicos são dispositivos de análise que vieram a tornar-se fundamentais para exame de corpos d'água, principalmente devido às suas características construtivas e de funcionamento que possibilitaram o desenvolvimento de dispositivos de análise portáteis e não poluentes, se destacando em aplicações nas áreas ambiental, alimentos e saúde. Para Naik e Nandibewoor (2014), métodos eletroanalíticos oferecem vantagens como simplificação do preparo de amostras e menores tempos de análise. Holler, Skoog e Crouch (2009), incluem a afirmação que técnicas eletroanalíticas são capazes de fornecer limites de detecção excepcionalmente baixos e um amplo conjunto de informações que descrevem e caracterizam um sistema eletroquímico. Mohamed (2016) também complementa essas vantagens descrevendo que os sensores eletroquímicos suportam tanto a sensibilidade quanto a seletividade inerente, usando processo de fabricação simples, altamente reprodutíveis, saída linear, baixa exigência de potência e custo efetividade para a análises de rotina, visando diferentes plataformas e públicos.

Apesar de sua aplicação apresentar extensas vantagens, a estruturação e montagem de circuitos que objetivem realizar medições eletroquímicas na água devem ser muito bem avaliadas, pois estas poderão vir a apresentar resultados equivocados, comprometendo os processos dependentes dessas análises. Essa informação foi reafirmada por Press e Press (2018) ao caracterizar os sensores eletroquímicos como altamente sensíveis, devido sua capacidade de leitura de microvolts, podendo assim sofrer interferências elétricas de fontes externas. Dessa forma, equipamentos como válvulas, boias elétricas, aquecedores, resfriadores, bombas e até mesmo outros sensores, que estejam em contato com o meio que está sendo avaliado, podem ocasionar imprecisões nas leituras dos sensores eletroquímicos de análise, sendo necessário atenção especial para a instalação de circuitos de isolamento que evitem interferências nas leituras. Dessa forma, a decisão pela utilização de instrumentos que utilizem esse tipo de sensor deve levar em conta que sua precisão estará diretamente relacionada à sua sensibilidade, ao ambiente de instalação, às características das soluções a que estarão expostos e ainda aos demais fatores externos de interferência, que poderão inviabilizar a atualização desse tipo de instrumento.

3.6.4 Medidores multipamétricos de análise de água

Os medidores multiparamétricos de análise de água, também conhecidos como sondas multiparâmetros, são dispositivos eletrônicos destinados à medição dos parâmetros indicadores das características físico-químicas da água, que podem combinar vários equipamentos de análise em um único. Geralmente esses medidores são classificados pelo tamanho, podendo ser de bolso, portáteis ou de bancada, e pela quantidade de parâmetros capaz de analisar.

De acordo com CETESB (2011, p. 255):

Mais recentemente, as sondas multiparâométricas têm sido utilizadas para o monitoramento automático contínuo ou temporário de corpos d'água. [...] Esse tipo de equipamento tem experimentado rápida evolução tecnológica nos últimos anos, podendo-se encontrar no mercado sensores para determinação de quase todos os parâmetros [...] O uso de sondas multiparâmetro constitui, dessa forma, alternativa interessante a ser considerada no projeto de redes de monitoramento automático da qualidade de corpos d'água. Esses equipamentos são tecnicamente confiáveis e exigem infraestrutura mais simples para a sua instalação.

Atualmente existem medidores capazes de avaliar mais de uma dezena de parâmetros da água, dentre os quais estão: temperatura, condutividade, salinidade, pH, ORP, pressão atmosférica, resistividade, turbidez, gravidade específica da água do mar, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, nitrogênio, íons de amônia, nitratos, cloretos, fluoreto e nitrogênio. A maioria dos equipamentos comercializados são geralmente portáteis, destacando uma de suas principais vantagens que é a possibilidade de realização das medições diretamente nos locais de amostragem, evitando assim a possibilidade de erros ocasionados pela coleta ou transporte irregular das amostras. Quanto a essa questão a Cetesb (2011, p. 22) afirma:

A etapa de amostragem é crucial nesse processo, pois o material coletado deve representar de forma fidedigna o local amostrado. A seleção criteriosa dos pontos de amostragem e a escolha de técnicas adequadas de coleta e preservação de amostras são primordiais para a confiabilidade e representatividade dos dados gerados.

A figura 7 apresenta um medidor multiparâmetro, portátil, da fabricante Hanna Instruments, composto por unidade de processamento e medição e uma sonda multisensor que se conecta ao medidor através de conector roscável. De acordo com o manual do fabricante, o equipamento mede até 13 parâmetros diferentes de qualidade da água, sendo 6 medidos e 7 calculados. As informações das medições são armazenadas internamente no medidor, podendo ser transmitidas

para um computador através de conexão USB e *software* específico do fabricante (HANNA, 2019).



Figura 7 - Medidor multiparâmetro HI9829.
Fonte: Hanna instruments Brasil, 2019.

Apesar das várias vantagens do uso desse tipo de equipamento, dentre as quais se destaca sua capacidade em realizar medições de grande quantidade de parâmetros, ainda é pouco percebida sua utilização em aplicações domésticas ou em pequenos empreendimentos, principalmente pelo seu custo de aquisição e manutenção. Em versões mais completas, os medidores e seus acessórios complementares, podem ser encontrados comercialmente a valores que ultrapassam R\$ 40.000,00, caracterizando esses instrumentos como opção pouco viável para pequenos empreendimentos e pesquisas com pouca disponibilidade financeira. Há de se considerar ainda que o modelo de arquitetura fechada desse tipo de equipamento dificulta ou inviabiliza sua manutenção preventiva em decorrência de inexistência de padrões construtivos que possibilitassem a intercambialidade de peças entre modelos e marcas distintas e ainda em decorrência de fatores como pequena rede de assistências técnica, dificuldades de importações de peças e suprimentos, indisponibilidade de componentes de reposição e descontinuidade de fabricação do modelo do equipamento.

Outra limitação a esse tipo de instrumento está relacionado à necessidade de sua operação durante análises, pois ainda são poucos os equipamentos de tecnologia consolidada que

possibilitam a realização de medições e o registro dessas informações, de forma automatizada e em tempo real, em sistemas capazes de gerenciar vários instrumentos distribuídos espacialmente em rede. Para Horsburgh et al. (2015), o monitoramento ambiental com sensores *in situ* apresenta muitos desafios para o gerenciamento de dados, particularmente para redes de grande porte, dessa forma, pesquisadores e profissionais necessitam de ferramentas que possibilitem a importação, armazenamento e gerenciamento de grande quantidade de dados, incluindo procedimentos para acesso, processamento e controle da qualidade desses dados.

Dessa forma, compreende-se que todos esses fatores devem ser levados em consideração na escolha do equipamento para aquisição, pois estão diretamente relacionados à sua durabilidade e ao custo/benefício de utilização dessa tecnologia.

3.7 O projeto Rede InfoAmazonia

O projeto Rede InfoAmazonia surgiu durante o ano de 2014, como iniciativa do projeto InfoAmazonia, uma organização independente, atuante na área ambiental, que agrega dados e notícias sobre a Amazônia. Segundo InfoAmazonia (2017), o projeto é sustentado por uma rede de organizações e jornalistas que oferecem informações relacionadas a questões ambientais da região. Seu principal foco é a geração e disponibilização pública de informações que possibilitem o cruzamento de notícias com dados de forma a permitir maior percepção sobre os desafios para a conservação da floresta.

O Rede InfoAmazonia desenvolveu um sistema de código aberto que inclui um hardware de medição de parâmetros relacionados à qualidade da água para monitoramento em tempo real, batizado como “Mãe d'Água” (MDA), e softwares de monitoramento, entre eles um servidor *web* que recebe os dados dos equipamentos, armazena e exibe as informações em um *site* na *internet* (REDE INFOAMAZONIA, 2017).

Segundo a instituição, o projeto contou com o apoio de instituições públicas como as Secretarias Municipais de Meio Ambiente e Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em parceria com outras organizações como a ONG O Eco, o Projeto Saúde & Alegria e articulação com lideranças de comunidades ribeirinhas da Amazônia brasileira, para desenvolver e implantar uma rede de monitoramento de indicadores de qualidade da água. Essa rede abrange microsistemas de abastecimento de água públicos, em que foram instalados os medidores

MDA, que realizam medições periódicas de parâmetros da água e envia essas informações para monitoramento em tempo real, através de uma plataforma *web* que possibilita ainda, o envio de alertas aos consumidores através da rede de telefonia, utilizando o serviço de mensagens curtas ou *short message service* (SMS) da telefonia móvel.

Iniciativas como da Rede InfoAmazonia, de desenvolvimento de sistemas de monitoramento de parâmetros de qualidade da água, com a utilização de plataforma *web* com formato interativo, de rápido acesso e fácil compreensão são fundamentais para a popularização do conhecimento e a tomada de decisões quanto ao uso da água analisada. Quanto a essa questão Lima Junior (2006, p. 53) afirma:

O grande desafio na Sociedade do Conhecimento é possibilitar ao ser humano mecanismos confiáveis de aquisição de informação para que se possa desenvolver conhecimento (individual e coletivo) em uma sociedade complexa, onde as decisões devem ser tomadas em função de diversos e complexos vetores.

O envolvimento da sociedade em ações como essa, além de possibilitar maior participação comunitária na solução de problemas sociais, pode ainda despertar o interesse para pesquisa científica. Lowry e Fienen (2013) demonstram isso em seu projeto de coleta de informações hidrológicas com a utilização da tecnologia celular e participação voluntária de cientistas cidadãos. Afirmam que embora existam algumas desvantagens relativas à precisão dos dados, é altamente atraente a utilização desse tipo de metodologia, tanto pela possibilidade de expansão da rede de monitoramento como também pelo alto impacto social.

O projeto de monitoramento da Rede InfoAmazonia, foi um dos premiados no Desafio de Impacto Social da Google em 2014, junto a outras 9 ideias apresentadas por ONGs de todo o Brasil. Segundo Google (2017), o desafio é uma iniciativa realizada anualmente pela empresa, em diversos países, que visa fomentar o uso criativo de tecnologias, através da premiação de organizações sem fins lucrativos que desenvolvem projetos que promovam enfrentamento a problemas sociais com o uso de tecnologias

Dessa forma a Google passou a ser a principal colaboradora ao desenvolvimento inicial do projeto. Suas contribuições ocorreram na forma de investimentos financeiros para o desenvolvimento dos equipamentos e criação da rede, como também através do apoio técnico operacional de funcionários da Google e através de consultorias realizadas por empresas por ela contratadas.

Segundo a Rede InfoAmazonia (2017), com o estabelecimento da rede de parceiros colaboradores e com a disponibilidade de recurso da premiação internacional, foram produzidas vinte e cinco unidades do MDA, das quais dezoito foram instaladas em sistemas de armazenamento dispostos nas áreas urbanas e rurais dos municípios de Belterra, Mojuí dos Campos e Santarém, localizados na região do Baixo Tapajós, no Oeste do Pará. Uma das principais motivações para a definição dos locais para instalação dos primeiros sensores foi a existência, na região, de pressões econômicas devido aos impactos ambientais por conta da construção da BR163, bem como a expansão urbana e do agronegócio.

A instalação dos sensores proporcionou às comunidades beneficiadas a possibilidade de acompanhamento das avaliações periódicas da água consumida além da realização de oficinas de capacitação sobre tecnologias livres, meio ambiente e jornalismo cidadão. As capacitações, além de disseminar informações relativas às premissas do projeto, foram fundamentais para preparar agentes comunitários para a instalação e manutenção dos sensores, principalmente aqueles instalados em locais de difícil acesso, como unidades de conservação e uso sustentável (REDE INFORMAZONIA, 2017).

Os equipamentos instalados geraram informações das análises realizadas no período correspondente aos anos de 2015 a 2017, os quais encontram-se disponíveis na plataforma *web* do projeto em <http://rede.infoamazonia.org/>. O Rede InfoAmazônia afirma em seu *site* que atualmente o projeto encontra-se em fase de avaliação, objetivando implementações de melhorias e novas parcerias institucionais. Os equipamentos foram retirados e encaminhados a instituições parceiras que se interessaram pelo estudo do projeto.

Por ser um projeto de código aberto, suas informações estão disponíveis na plataforma *on-line* da GitHub, no endereço eletrônico <https://github.com/InfoAmazonia>, possibilitando sua utilização por pesquisadores, instituições e entusiastas autônomos que demonstrarem interesse em utilizar e ampliar os conhecimentos e as tecnologias produzidas até o presente momento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção encontram-se descritos os recursos utilizados neste estudo, que avaliou experimentalmente o funcionamento de um sistema de código aberto desenvolvido para realizar a análise e monitoramento de recursos hídricos, verificando seu funcionamento e possibilidade de sua utilização como alternativa tecnológica de baixo custo.

Para essa avaliação, foram utilizados os recursos do sistema desenvolvidos pelo projeto Rede InfoAmazonia. O sistema é composto por hardware de medição de parâmetros relacionados a qualidade da água e softwares que registram essas medições e as disponibilizam em uma plataforma na *internet* para interessados no acompanhamento dessas informações.

Foram utilizados nesse estudo duas unidades do equipamento (MDA1 e MDA2) de mesma configuração e modelo construtivo. É importante ressaltar que os equipamentos avaliados foram cedidos pelo projeto InfoAmazonia, construídos pela organização durante o ano de 2015, utilizados em comunidades atendidas pelo projeto durante os anos de 2015 e 2016 e retirados em 2017 para disponibilização para esse estudo.

4.1 Caracterização dos recursos avaliados

4.1.1 O hardware de medição de parâmetros da água

Desenvolvido com tecnologias de código aberto, o equipamento Mãe d'Água (MDA) é um medidor multiparâmetro de análise de água, desenvolvido para ser instalado em caixas d'água, cisternas e em pequenos mananciais de águas superficiais. Dotado de eletrodos/sensores que permanecem submersos, sua função é realizar medições periódicas de parâmetros físico-químicos da solução a que está exposto e transmitir essas informações para um servidor de *internet* que possibilita a visualização das medições em um banco de dados aberto.

Segundo o projeto Rede InfoAmazonia (2017), o hardware MDA é capaz de realizar a leitura de parâmetros físico-químicos importantes, que podem ajudar a identificar o potencial de contaminação da água. Através da comparação com valores de referência e interpretação dos parâmetros medidos com o equipamento, a instituição afirma ser possível identificar alterações da água, que podem indicar a possibilidade de contaminação.

Elaborado a partir das experiências de outros projetos de código aberto, o MDA foi desenvolvido de forma colaborativa pela equipe da organização InfoAmazonia, com apoio da rede internacional de ciência cidadã Public Lab e em parceria com a *start-up* Dev Tecnologia, empresa incubada na Universidade de São Paulo (REDE INFOAMAZONIA, 2017).

Segundo a instituição, a ideia foi buscar consolidar as experiências de outros projetos em um hardware de código aberto, que agregasse a maior quantidade de funcionalidades necessárias às medições de parâmetros relacionados à qualidade da água, automação das medições, à necessidade de ser um equipamento de baixo custo e fácil manutenção e ainda, que estivesse alinhado à ideia tecnológica que está em plena ascensão, da Internet das Coisas, possibilitando a conexão do dispositivo físico à *internet*, para a transmissão dos dados coletados.

Definidas as premissas que fundamentaram a construção do MDA e visando a consolidação de um equipamento que pudesse ser de fácil replicação, o MDA teve como base construtiva a plataforma de prototipagem do tipo Arduino, a partir da qual foram projetados todos os demais elementos que compõem o hardware.

4.1.1.1 Composição do MDA

O MDA possibilita sua montagem de forma modular, permitindo liberdade de adaptação às necessidades de cada aplicação. Dessa forma, o projeto Rede InfoAmazonia definiu a composição do módulo 1 como responsável pelo controle e processamento do equipamento. Composto por componentes com disponibilidade comercial, o módulo é formado por uma unidade do Arduino, modelo Mega 2560 R3 e uma fonte de alimentação de energia do tipo CC de 9V e 1A com plug P4, que é conectada externamente (Figura 8).



Figura 8 - Módulo 1 MDA: Unidade de programação e processamento.
Fonte: Arduino (2018), “Baú da eletrônica” (2018).

O módulo 2 do MDA é composto por quatro *shields* desenvolvidos para o *hardware*. O *shield* primário (Figura 9), é acoplado sobre o Arduino Mega, de dimensões aproximadas de 55 x 103 mm, possui em sua estrutura um sensor de pressão barométrica do ar, temperatura do equipamento e disponibilidade para instalação de sensores de temperatura e umidade do ar, luminosidade e conector de cartão de memória do tipo SD card. A placa é responsável ainda por reorganizar as conexões do Arduino, para melhor disposição das conexões em que serão acoplados o sensor de temperatura e os *shields* controladores dos sensores de pH, ORP, condutividade elétrica e comunicação.

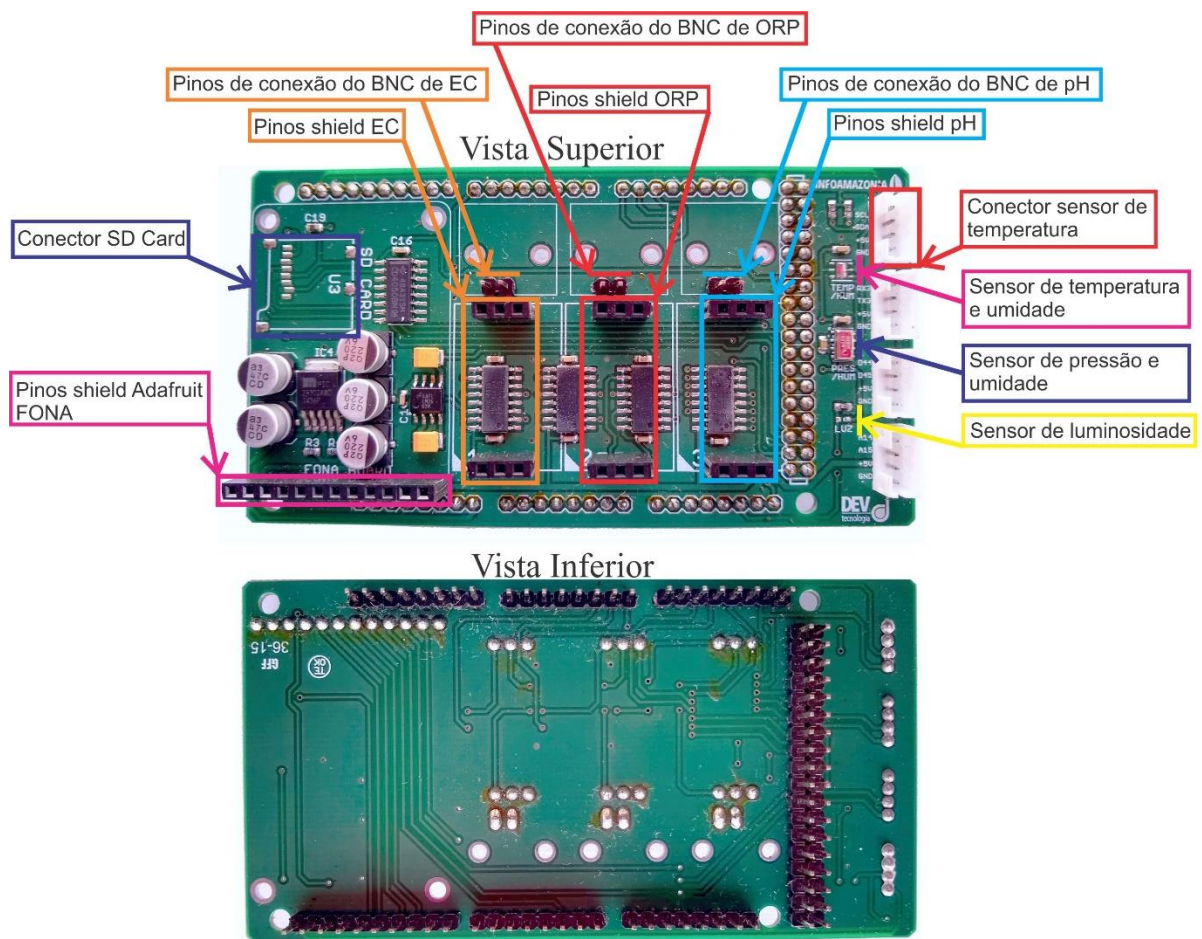
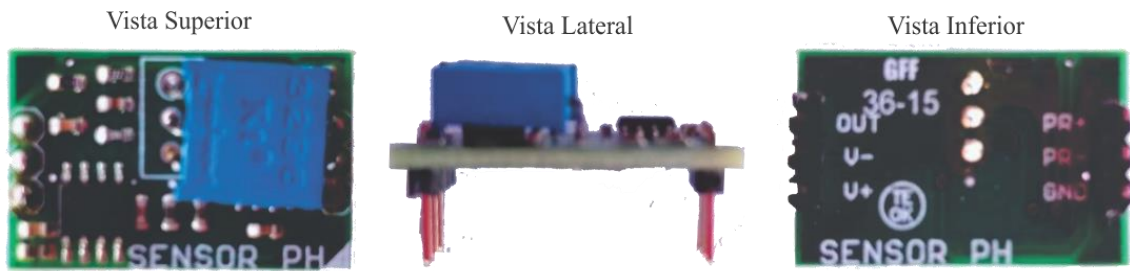


Figura 9 - Módulo 2 MDA: Shield primário de acoplamento dos sensores do MDA.
Fonte: Própria (2019).

Os *shields* das placas controladoras das medições de pH (Figura 10), ORP (Figura 11) e EC (Figuras 12), também pertencentes ao módulo 2 do MDA, possuem dimensões aproximadas de 15 x 25 mm cada, ficam acoplados sobre o *shield* primário, nas conexões demarcadas pelas numerações “1” para EC, “2” para ORP e “3” para PH. São os responsáveis pela captação das medições do eletrodos/sensores que ficam submersos.

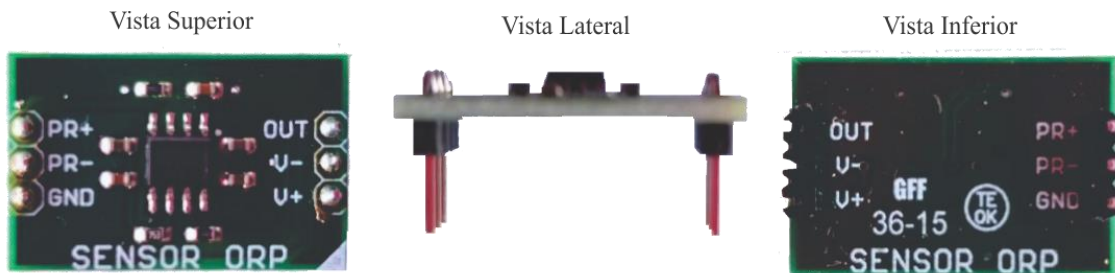
A comunicação com os eletrodos/sensores ocorre através de conexão BNC disposta na caixa plástica do MDA. Dessa forma, aceita a conexão de eletrodos combinados que possuam conectores do tipo BNC. Os eletrodos combinados de pH (Figura 10) e de ORP (Figura 11), não foram desenvolvidos pelo projeto, são componentes de disponibilidade comercial.



Eletodo combinado de medição de pH



Figura 10 - *Shield* e eletrodo de medição de pH.
Fonte: Própria (2019).



Eletodo combinado de medição de ORP



Figura 11 - *Shield* e eletrodo de medição do ORP.
Fonte: Própria (2019).

O sensor de condutividade elétrica (Figura 12) deste projeto foi baseado no projeto de código aberto denominado Coqui BBv1.0, um dispositivo que gera uma frequência de saída audível em função de medições de resistências. O projeto deste dispositivo, com detalhes de construção, está disponível na plataforma *on-line* da Public lab, no endereço eletrônico <https://publiclab.org/notes/donblair/09-30-2014/coqui-bbv1-0>. O circuito foi adaptado para construção do sensor de condutividade elétrica utilizado no MDA.

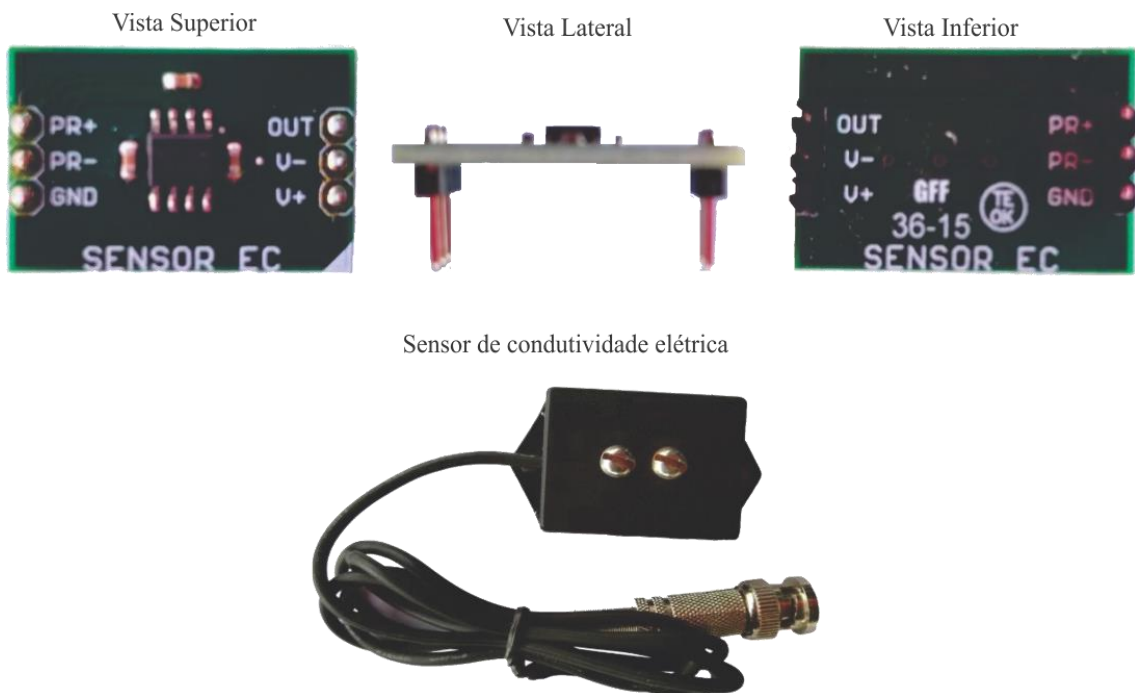


Figura 12 - *Shield* e sensor de medição de EC.
Fonte: Própria (2019).

Ainda no módulo 2, o MDA dispõe de um sensor para medição da temperatura da água, o sensor utilizado é do tipo DS18B20, um sensor digital de medição de temperatura constituído de uma ponta de aço inox de 6 x 50 mm e cabo flexível com 100 cm de comprimento, capacidade de medição de -55 a 125 °C e precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

A conexão do sensor de temperatura com o MDA ocorre através de conectores tipo bloco, de referencia 87369-0400, instalado na terminação do cabo que será conectado ao terminal, de referencia 89400-0420, disposto sobre o *shield* primário do MDA na conexão demarcada como SCL/SDA/+5v/GND. O sensor fica fixo à caixa plástica do MDA através de um trava cabo telescópico para vedação contra umidade (Figura 13).

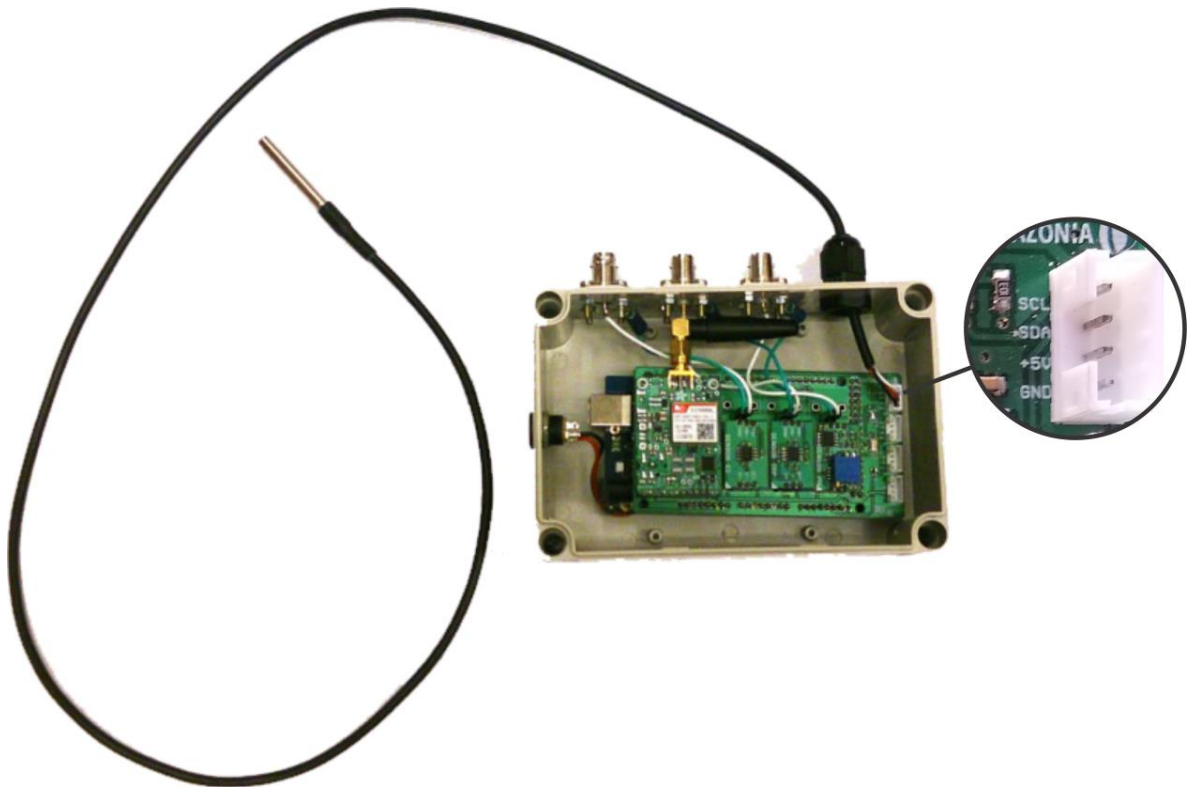


Figura 13 - Sensor de medição de temperatura acoplado ao MDA.
 Fonte: Adaptado de InfoAmazonia, 2017.

O módulo 3 do MDA é composto por um *shield* de comunicação tipo Adafruit FONA MiniGSM, modelo SIM 800L (Figura 14), de disponibilidade comercial, é um módulo responsável pela comunicação via rede de telefonia celular. Após o processamento das informações coletadas pelos sensores, o MDA possibilita a transmissão desses dados utilizando o módulo GSM “*Global System for Mobile Communications*” ou “Sistema Global para Comunicações Móveis” a ele acoplado, essa transmissão é realizada através de serviço de mensagens SMS para um número de celular definido em sua programação e também através da rede de *internet* da telefonia celular, para transmissão das informações para um servidor *web*, através de protocolo de comunicação do tipo HTTP “*HyperText Transfer Protocol*” ou “Protocolo de Transferência de Hipertexto” para endereço previamente definido em sua programação.

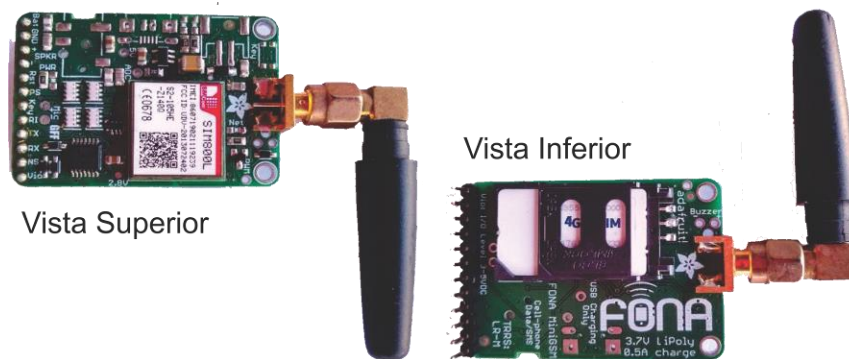


Figura 14 - Módulo 3 *shield* de transmissão de dados.
Fonte: Própria (2019).

Após a montagem dos módulos, a unidade eletrônica do MDA é acondicionada em uma caixa plástica de disposição comercial, fabricada em material ABS, nas dimensões altura 50 x largura 100 x comprimento 120 mm e com vedação contra umidade, nela são instalados os conectores aos quais serão acoplados o eletrodos e alimentação elétrica (Figura 15).

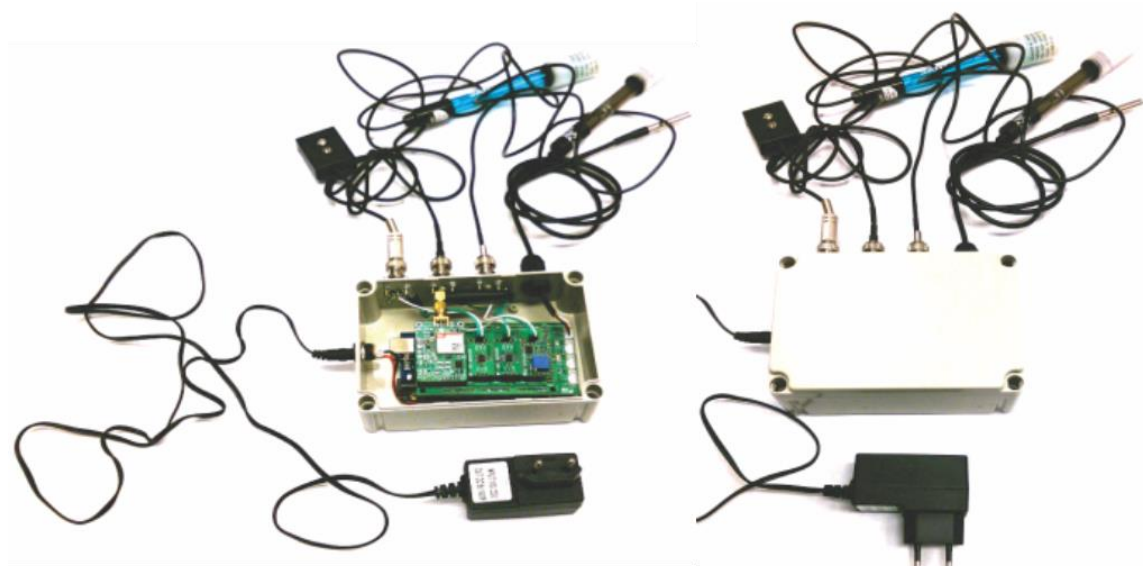


Figura 15 - Dispositivo MDA montado.
Fonte: adaptado InfoAmazonia, 2017.

O projeto do *hardware* está disponível no endereço eletrônico <https://github.com/InfoAmazonia/rede-hardware>, sob a licença CERN Open *Hardware License* v1.2, possibilitando que pessoas interessadas neste tipo de tecnologia possam construir seus próprios equipamentos, melhorar o estado de desenvolvimento atual do equipamento ou ainda adaptá-lo para utilização nas mais diversas áreas e aplicações.

O MDA foi projetado principalmente para instalação em pequenos sistemas de armazenamento de água, a exemplificação (Figura 16) apresenta a forma de instalação do equipamento em uma caixa d'água, demonstrando o módulo eletrônico de análise disposto do lado externo do reservatório e conectado à fonte de alimentação elétrica. As sondas/sensores dos equipamentos ficam instalados dentro dos reservatórios, abaixo do nível mínimo para garantir que estejam sempre submersos.



Figura 16 - Exemplo instalação do MDA em caixa d'água.
Fonte: Adaptado de InfoAmazonia, 2017.

4.1.1.2 Esquemático e componentes eletrônicos

O projeto das quatro placas de circuito impresso – PCI, referentes aos *shields* apresentados (Figuras 10, 11, 12 e 13), foi desenvolvido para facilitar sua confecção através de processo de fabricação assistida por computador. Os arquivos com o projeto das PCI, o esquemático eletrônico e a biblioteca de componentes, estão disponíveis no repositório eletrônico <https://github.com/InfoAmazonia/rede-hardware> e podem ser utilizados com *softwares* de desenho de circuitos eletrônicos, neste estudo foi utilizado o *software* EAGLE da Autodesk para visualização e extração das informações. O layout das PCI é demonstrado a seguir (Figura 17).

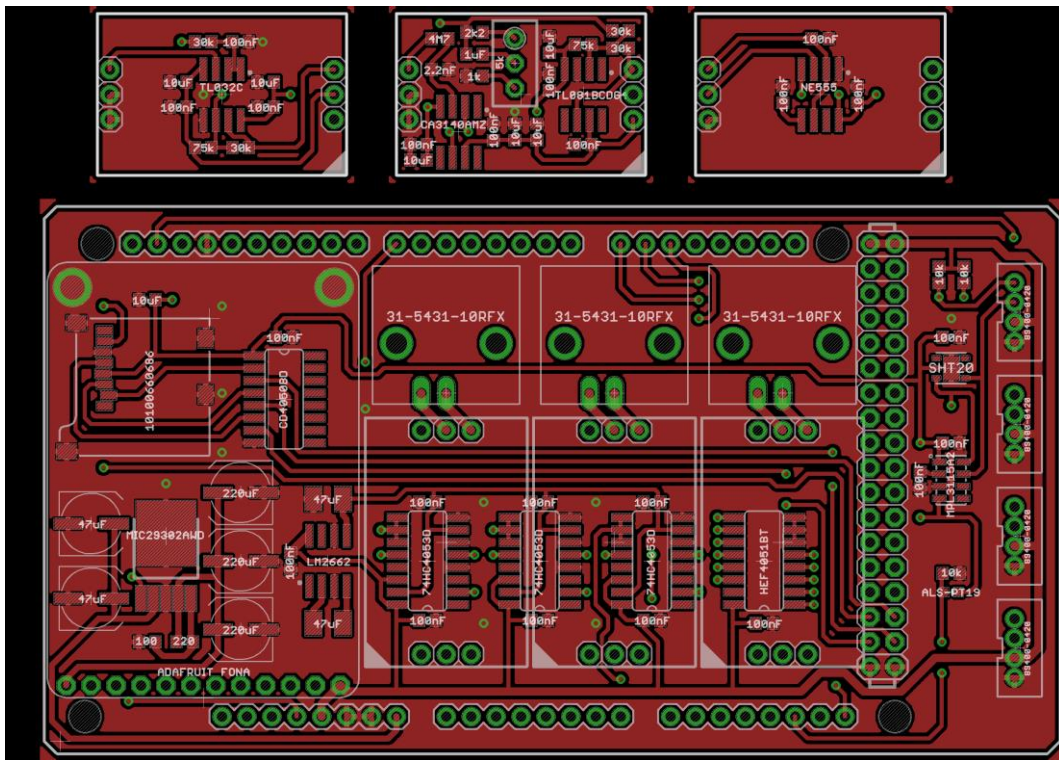


Figura 17 - Layout das PCI dos shields do MDA.
 Fonte: GitHub InfoAmazonia, 2017.

A relação de componentes eletrônicos para fabricação dos *shields*, é apresentada a seguir (Tabela 1), na sequência é apresentado o esquemático eletrônico para construção do MDA (Figura18), essas informações foram extraídas utilizando o arquivo de layout do MDA e o programa EAGLE.

Tabela 1 - Lista de componentes eletrônicos para montagem das PCI.

Fonte: Adaptado de GitHub InfoAmazonia, 2017.

Qtd	Valor	Dispositivo	Package	Conexões presentes	Descrição
1	100k	R-EU_R0603	R0603	R3	RESISTOR, European symbol
22	100nF	C-EUC0603	C0603	C1, C6, C9, C10, C11, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C20, C21, C22, C24, C25, C27, C29, C31, C33, C35, C37	CAPACITOR, European symbol
1	0686	USD-SOCKETNEW	MICRO-SD-SOCKET-PP	U3	microSD Socket
3	10k	R-EU_R0603	R0603	R1, R2, R5	RESISTOR, European symbol
7	10uF	C-EUC0603	C0603	C19, C23, C26, C32, C34, C36, C38	CAPACITOR, European symbol
1	1k	R-EU_R0603	R0603	R8	RESISTOR, European symbol
1	1uF	C-EUC0603	C0603	C30	CAPACITOR, European symbol
1	2.2nF	C-EUC0603	C0603	C28	CAPACITOR, European symbol
1	220k	R-EU_R0603	R0603	R4	RESISTOR, European symbol
3	220uF	CPOL-EUUD6,3-5,8	UD-6,3X5,8_NICH ICON	C7, C8, C12	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
1	2k2	R-EU_R0603	R0603	R11	RESISTOR, European symbol
4	30k	R-EU_R0603	R0603	R7, R12, R13, R15	RESISTOR, European symbol
2	47uF	CPOL-EUSMC_B	SMC_B UD-6,3X5,8_NICH	C2, C3	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
2	47uF	CPOL-EUUD6,3-5,8	ICON	C4, C5	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
1	4M7	R-EU_R0603	R0603	R6	RESISTOR, European symbol
1	5k	RTRIM329W	RTRIM3296W	R10	Trimm resistor
3	53D	4053D	SO16	IC6, IC7, IC8	Triple 2-channel ANALOG MULTIPLEXER
2	75k	R-EU_R0603	R0603	R9, R14	RESISTOR, European symbol

Tabela 1 (continuação) – Lista de componentes eletrônicos para montagem das PCI,
 Fonte: Adaptado de GitHub InfoAmazonia, 2017.

1	ALS- PT19	LIGHTSENSORALS	ALS-PT19	U4	Ambient Light Sensor
	CA3140				
1	AMZ	AMPOP	SO8	IC12	High Performance Video Op Amp
	CD4050				
1	BD	4050D	SO16	IC5	Hex non-inverting BUFFER
	HEF405				
1	1BT	4051D	SO16	IC3	8-channel ANALOG MULTIPLEXER
1	LM2662	LM2662	SO8	IC2	Switched Capacitor Voltage Converter
	MIC293				
1	02AWD	MIC29XXX	TO252-5	IC4	3A Fast-Response LDO Regulator
	MPL31				Altimeter/Pressure Sensor, I2C, 1.95V-3.6V
1	15A2	MPL3115A2LGA8	LGA8	U2	supply, 50 to 110kPa
1	NE555	NE555	SO8	IC11	General purpose bipolar Timer
1	SHT20	SHT2X	SHT2X	IC9	Humidity and Temperature Sensor IC
					Dual Precision, Low Cost, High Speed BiFET
1	TL032C	AMPOP_2R	SO8	IC10	Op Amp
	TL081B				
1	CDG4	AMPOP	SO8	IC13	High Performance Video Op Amp

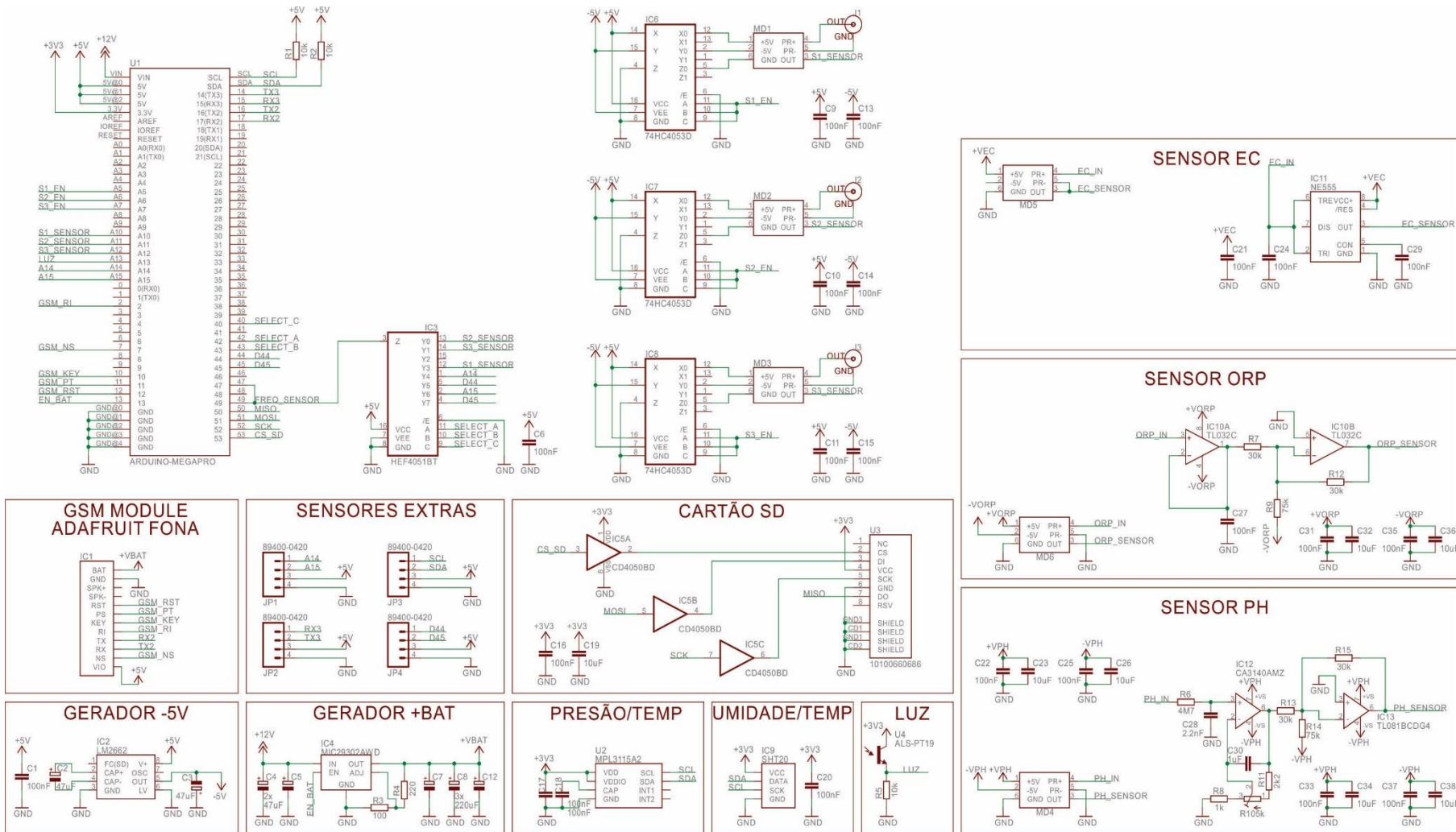


Figura 18 - Esquema eletrônico do MDA.

Fonte: GitHub InfoAmazonia, 2017.

4.1.1.3 Manutenção do MDA

A calibração de equipamentos de medição é a maneira de manter a eficiência de suas leituras, permitindo medições com maior precisão em comparação à padrões conhecidos. Segundo o Inmetro (2012), calibração é a operação que estabelece uma relação entre os valores medidos e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões. Está relacionado às incertezas de medição, sendo necessária essa indicação para realização de ajustes que permitam maior exatidão do equipamento de medição.

O MDA possui *softwares* que possibilitam realizar a calibração de seus medidores de EC, pH e ORP, os demais parâmetros medidos pelo equipamento não realizam esse processo. Como todo equipamento de medição, é recomendável que a calibração do MDA seja realizada a cada nova instalação do equipamento, atualização de sua programação ou na ocorrência de variações excessivas de leituras sem motivação aparente.

Para a realização da calibração é necessária a utilização de soluções padrões para os parâmetros de EC e pH. Essas soluções podem ser adquiridas em laboratórios especializados e normalmente acompanham certificados emitidos pelo laboratório, afirmando sua confiabilidade, precisão e condições de utilização. Durante a realização da calibração serão necessários no mínimo duas soluções padrões para cada parâmetro medido, podendo ainda ser utilizada uma terceira solução para verificar se a calibração está adequada ou realizar o método dos mínimos quadrados e obter uma reta melhor (Tabela 2).

Tabela 2 - Soluções para calibração do MDA.
Fonte: Própria (2019).

Parâmetro	Solução para calibração	Disponibilidade
pH	Solução Tampão pH 4,0	Optativa
	Solução Tampão pH 7,0	Necessária
	Solução Tampão pH 10,0	Optativa
EC	Solução Padrão de Condutividade 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Optativa
	Solução Padrão de Condutividade 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Necessária
	Solução Padrão de Condutividade 12880 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Optativa

A calibração do MDA é realizada individualmente para cada parâmetro de medição. Seus programas de calibração foram elaborados especificamente para cada parâmetro e estão gravados em arquivos disponíveis no repositório GitHub no endereço

<https://github.com/InfoAmazonia/rede-firmware>, com a identificação do parâmetro a qual se destinam.

Para a calibração, será necessário conectar o MDA a um computador via porta USB, será necessário iniciar o programa Arduino IDE, abrir o arquivo referente ao parâmetro que deseja calibrar, realizar o carregamento do arquivo no MDA e abrir o monitor serial do IDE para visualizar as orientações do processo.

Durante a calibração dos medidores de pH e EC será solicitada a utilização das soluções padrões. Para a calibração do medidor de ORP, será necessário somente curto-circuitar o BNC de entrada do eletrodo para realizar a calibração do *off-set* dos amplificadores internos do MDA. Ao término dos processos de calibração de cada parâmetro será emitido um relatório com valores de ajustes que deverão ser anotados para posteriormente serem inseridos na programação da rotina de medição do MDA.

Para realização do ajuste de medições será necessário abrir o arquivo “rede-firmware”, responsável pela rotina de funcionamento do MDA e substituir os valores de ajustes de calibração nas linhas do código específicas para esse fim e realizar o carregamento do arquivo atualizado no MDA.

A manutenção da exatidão das medições do MDA está fortemente relacionado com a qualidade de seus sensores/eletrodos. Os eletrodos do MDA, são seus componentes mais externos e de maior sensibilidade, portanto requerem cuidados na utilização, manuseio e armazenagem. Após utilização do MDA, para armazenagem do eletrodo, faz-se necessário que se protejam suas pontas de leitura. Assim é necessário que se armazene os eletrodos utilizando seu recipiente de armazenamento (frasco de imersão), com solução eletrolítica de Cloreto de potássio (KCl) 3M. Esse procedimento é necessário para garantir a conservação e hidratação de sua membrana e conseqüentemente o prolongamento de sua vida útil.

Com a utilização regular dos eletrodos, impurezas podem impregnar a área do bulbo (Figura 19), revestindo-os e levando a leituras errôneas. Situações de demora excessiva para estabilização, medições erradas e problemas com calibração podem indicar a necessidade de limpeza do eletrodo.

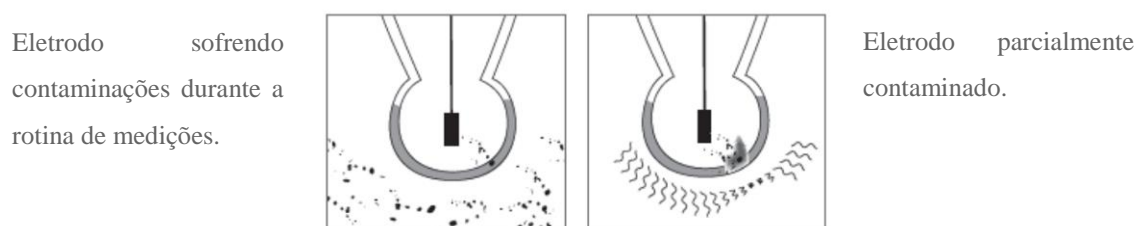


Figura 19 - Impregnação de impurezas no bulbo do eletrodo.
 Fonte: HANNA instruments Brasil, 2018.

Técnicas de limpeza dos eletrodos são sugeridas pelos fabricantes, de acordo com o tipo de impureza que esteja revestindo os bulbos. Assim, para situações em que o bulbo esteja revestido com impurezas macias, sugere-se a remoção das impurezas agitando a sonda em solução de limpeza ou com jatos da solução utilizando pisseta, geralmente utiliza-se uma solução de limpeza composta por solução de pepsina 1 - 5% (m/V) em ácido clorídrico 0,1N.

Para as situação de revestimentos com impurezas químicas, ou duras, essas deverão ser quimicamente removidas, para isso, será necessário imergir as pontas dos eletrodos, por alguns minutos, em solução de alvejante leve ou mesmo um ácido clorídrico (HCl) a 5 - 10%. Se a limpeza não restaurar o desempenho, a sonda deverá ser trocada (JENWAY, 2018).

4.1.1.4 A programação do MDA

Para que o equipamento realize a rotina de medições e transmissões, é necessário realizar sua programação. Os arquivos com o código fonte de programação do MDA estão disponíveis em <https://github.com/infoamazonia/rede-firmware>. Junto aos arquivos do código fonte também encontram-se disponíveis os arquivos com as programações específicas para calibração dos medidores de EC, ORP e pH.

O arquivo “rede-firmware” é o responsável pela programação do MDA, em seu código constam as variáveis que deverão ser configuradas pelo usuário e a rotina de funcionamento do equipamento. Antes da utilização do MDA é necessário conecta-lo a um computador via cabo USB e realizar o carregamento de sua programação. O arquivo pode ser utilizado com softwares de programação de Arduino, neste estudo foi utilizado o software Arduino IDE.

Na programação do MDA será necessário configurar a ativação de sensores e funções (Figura 20), informar os valores referentes aos ajustes de calibração dos sensores (Figura 21),

identificação do equipamento, intervalo de tempo para realização de medições e envio de dados (Figura 22), número para envio de SMS e o endereçamento URL do servidor para postagem HTTP dos dados medidos (Figura 23).



```

rede-firmware | Arduino 1.8.8 (Windows Store 1.8.19.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
rede-firmware
// Defines to enable or disable sensors
#define HUMIDITY_SENSOR 0
#define AMBIENT_TEMPERATURE_SENSOR 1
#define PRESSURE_SENSOR 1
#define LIGHT_LEVEL_SENSOR 0
#define PH_SENSOR 1
#define ORP_SENSOR 1
#define EC_SENSOR 1
#define WATER_TEMPERATURE_SENSOR 1

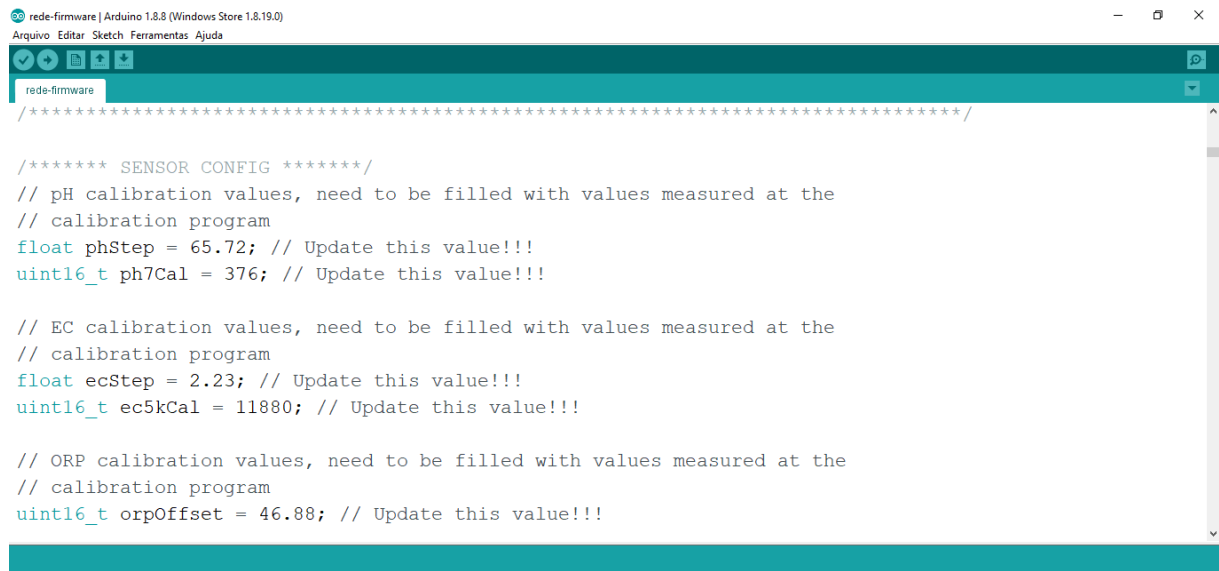
// Define to enable or disable watchdog
#define WATCHDOG_ENABLE 0

// Define to enable or disable messages
#define SEND_SMS 0
#define SEND_HTTP_POST 1

```

Figura 20 - Ativação de sensores e funções.

Fonte: *print screen* do *firmware* de programação do MDA.



```

rede-firmware | Arduino 1.8.8 (Windows Store 1.8.19.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
rede-firmware
/***** SENSOR CONFIG *****/
// pH calibration values, need to be filled with values measured at the
// calibration program
float phStep = 65.72; // Update this value!!!
uint16_t ph7Cal = 376; // Update this value!!!

// EC calibration values, need to be filled with values measured at the
// calibration program
float ecStep = 2.23; // Update this value!!!
uint16_t ec5kCal = 11880; // Update this value!!!

// ORP calibration values, need to be filled with values measured at the
// calibration program
uint16_t orpOffset = 46.88; // Update this value!!!

```

Figura 21 - Configuração de ajustes de calibração dos sensores.

Fonte: *print screen* do *firmware* de programação do MDA.



```

rede-firmware | Arduino 1.8.8 (Windows Store 1.8.19.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

rede-firmware

/***** ID CONFIG *****/
// Id of the device
char id[] = "+5511997646041";

/***** TIMER CONFIG *****/
// Time elapsed since last measurement (in seconds)
int time_elapsed = 60;

// Interval between consecutive data sends (in seconds)
#define SEND_INTERVAL 1 //3600
#define NUM_RETRIES 5

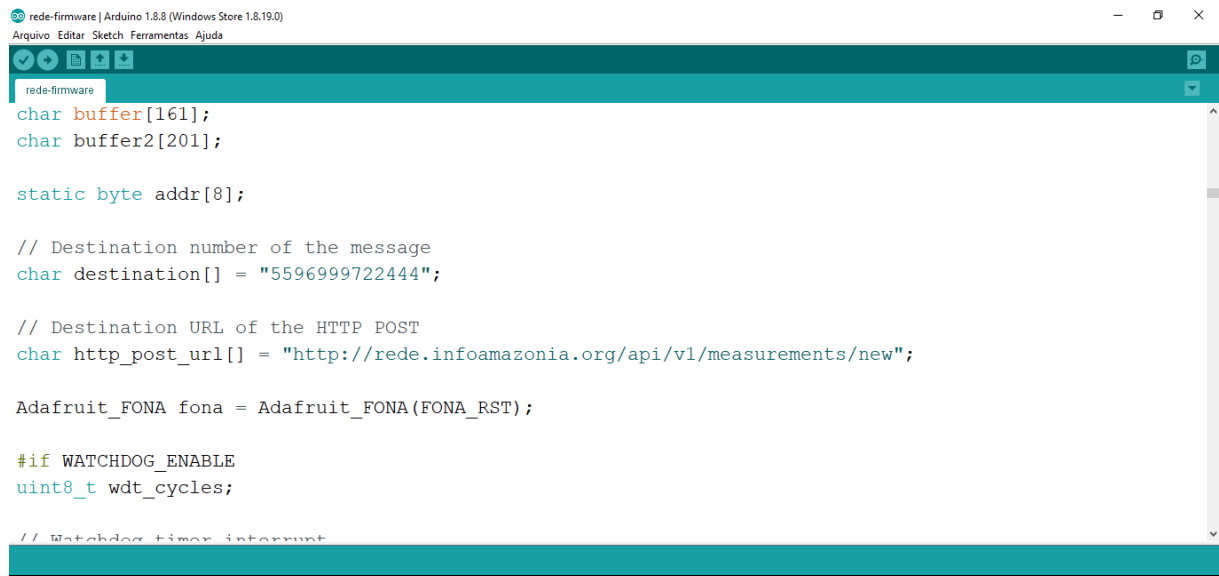
/*****

// Constants
// Digital I/O pins

```

Figura 22 - Configurações de identificação, intervalo de medições e transmissão.

Fonte: *print screen* do *firmware* de programação do MDA.



```

rede-firmware | Arduino 1.8.8 (Windows Store 1.8.19.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

rede-firmware

char buffer[161];
char buffer2[201];

static byte addr[8];

// Destination number of the message
char destination[] = "5596999722444";

// Destination URL of the HTTP POST
char http_post_url[] = "http://rede.infoamazonia.org/api/v1/measurements/new";

Adafruit_FONA fona = Adafruit_FONA(FONA_RST);

#if WATCHDOG_ENABLE
uint8_t wdt_cycles;

// Watchdog timer interrupt

```

Figura 23 - Configurações de destino de mensagens SMS e endereço para envio de dados.

Fonte: *print screen* do *firmware* de programação do MDA.

Realizadas as configurações e a carga da programação, o MDA estará pronto para ser utilizado, bastando ser ligado a fonte de alimentação externa.

4.1.2 Os softwares de monitoramento

Para realizar o registro e monitoramento dos dados medidos pelos MDA, o sistema possui softwares para instalação e configuração de um servidor *web* que realiza o controle de entrada

de dados transmitidos pelos medidores, armazena e exibe as informações em uma plataforma na *internet*.

Em seu formato atual, a plataforma *web* dispõe de informações sobre o projeto, sua rede de parceiros, aspectos técnicos e locais de instalação dos medidores, em mapas interativos com informações estatísticas sobre saneamento nos Estados da Amazônia

Os dados transmitidos pelo MDA, são recebidos pelo servidor de *internet* através do endereço eletrônico <https://rede.infoamazonia.org/> e disponibilizados em acesso aberto para interessados em realizar a comparação dos parâmetros medidos em relação aos valores de admissibilidade.

A plataforma possui funcionalidades de outros sistemas, que fortalecem sua finalidade através de API integrados. Dessa forma, a plataforma possibilita a visualização do histórico de dados coletados, através da criação de gráficos de forma dinâmica e *on-line*. Para geração desses gráficos customizáveis utiliza a API Google Chart, que segundo a Google (2019), permite a criação de gráficos e relatórios sobre dados estruturados e ajuda a integrá-los diretamente em *websites*.

Esse aplicativo é integrado à programação para facilitar a visualização dos dados obtidos na medição dos parâmetros da água, gerando gráficos com períodos de medições customizáveis. Outra funcionalidade incorporada é a visualização da localização dos pontos de instalação dos MDA com infográficos de georreferenciamento, possível através da integração da API OpenStreetMap, que é um projeto de produção colaborativa de dados geoespaciais abertos (OPENSTREETMAP, 2019).

A plataforma possibilita ainda a realização de *download* do histórico de medições de cada parâmetro, em arquivos com extensão CSV, possibilitando sua utilização em programas de planilha eletrônica e de análise estatística. É possível ainda gerar relatórios de períodos customizáveis, contendo gráficos de todos os parâmetros medidos.

Os arquivos necessários à instalação dessa plataforma estão disponíveis em <https://github.com/InfoAmazonia/rede-site> sobre licença MIT, uma licença permissiva curta e simples, com condições que exigem apenas a preservação de avisos de direitos autorais e de licença (GITHUB INFOAMAZONIA, 2017).

Esses arquivos foram utilizados para instalação da plataforma no servidor de *internet*, localizado nas instalações da Universidade Federal do Amapá-UNIFAP. A instalação seguiu as orientações dispostas no repositório.

Outra forma de recepção das medições realizadas pelo MDA pode ocorrer através do serviço de SMS, neste caso há duas maneiras de transmissão dos dados, em uma é necessário que se cadastre diretamente na programação do firmware do MDA, o número de telefone que irá receber as medições, neste caso o dispositivo é o responsável pela transmissão através de seu *shield* GSM, que acaba por limitar a transmissão a um único número; o segundo método ocorre através de aplicativo integrado ao *site* que compõe o sistema, nesta situação os interessados em receber as mensagens SMS com as atualizações das medições de um determinado sensor, deverão realizar seu cadastramento através do *site*, informando um número de telefone para recebimento dos dados. A tabela 3 exemplifica o formato em que os dados das medições são apresentados.

Tabela 3 - Exemplos de formato das informações transmitidas.

Fonte: Própria (2019).

Método	Exemplo de dados recebidos.
APP	2018-05-12 T15:18:56-03:00; RH=0; Ta:C=31.0; AP:Pa=101206; E=0; pH=7.15;
SITE	ORP:mV=-151.69; EC:S/m=-326.9; Tw:C=29.8

Legenda

RH=	Medição do sensor de umidade. Não disponível.
Ta:C=	Medição do sensor de temperatura ambiente, em Célsius, medido dentro da caixa.
AP:Pa=	Medição do sensor de pressão barométrica do ar, em Pascal, medido dentro da caixa.
E=	Medição do sensor de luminosidade. Não disponível.
pH=	Medição do eletrodo de pH.
ORP:mV=	Medição do eletrodo de ORP.
EC:S/m=	Medição do sensor de condutividade elétrica, em microSiemens/centímetro quadrado.
Tw:C=	Medição do sensor de temperatura da água, em Celsius.

Após a medição e processamento das informações coletadas pelos sensores, o MDA realiza a transmissão desses dados para o servidor *web* que verifica se os dados são de medidores cadastrados e avalia a compatibilidade do formato das informações recebidas com o modelo informado em sua programação, estando as informações devidamente validadas, as medições são registradas na plataforma desenvolvida para esse fim.

O cadastramento dos medidores é realizado diretamente na plataforma *web*, somente por usuários administradores do sistema que deverão preencher no formulário (Figura 24) o nome do equipamento, coordenadas geográficas de sua localização e breve descrição de sua finalidade ou do local onde está instalado, será ainda obrigatório a definição de um identificador individual do equipamento em formato numérico, geralmente utiliza-se o número do chip da operadora de telefonia móvel instalado no módulo GSM, que por motivos de segurança, deverá coincidir com a identificação cadastrada na programação do MDA (Figura 25), caso contrário, o servidor *web* recusará a requisição de entrada de informação.

Área administrativa

SENSORES USUÁRIOS BROADCAST

Sensores + NOVO SENSOR

EDITAR SENSOR

Nome
MDA01

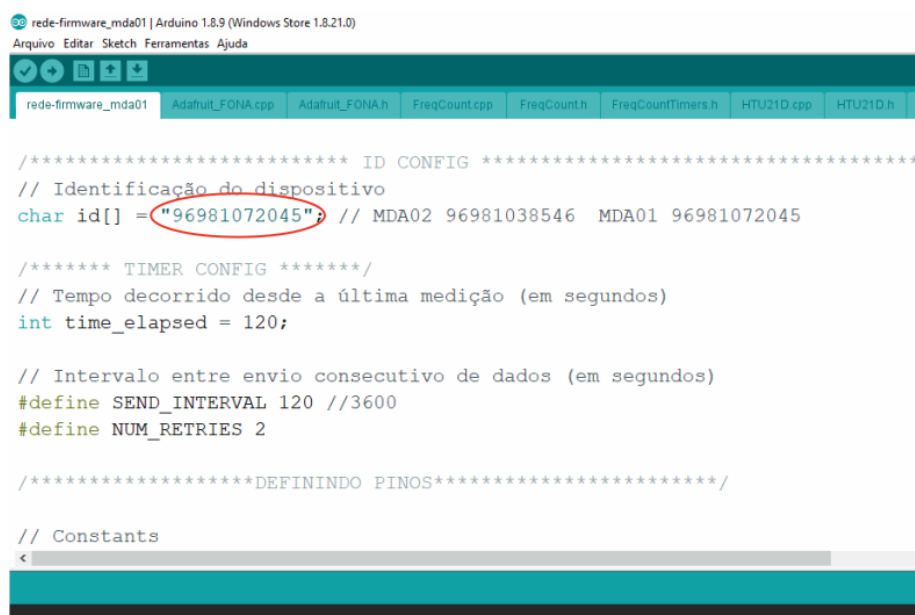
Identificador
96981072045

Latitude
-0.006687

Longitude
-51.083649

Descrição (comunidade)
Equipamento de pesquisa localizado na Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, cedido para análise para pesquisa do programa de pós graduação, mestrado em ciências ambientais. Medidor número 1.

Figura 24 - Identificação do MDA para transmissões de dados - Cadastramento do medidor na plataforma *web*
Fonte: *print screen* da área de cadastramento do MDA na plataforma *web* e do *firmware* de programação do MDA.



```
rede-firmware_mda01 | Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

rede-firmware_mda01 Adafuit_FONA.cpp Adafuit_FONA.h FreqCount.cpp FreqCount.h FreqCountTimers.h HTU21D.cpp HTU21D.h

/***** ID CONFIG *****/
// Identificação do dispositivo
char id[] = "96981072045"; // MDA02 96981038546 MDA01 96981072045

/***** TIMER CONFIG *****/
// Tempo decorrido desde a última medição (em segundos)
int time_elapsed = 120;

// Intervalo entre envio consecutivo de dados (em segundos)
#define SEND_INTERVAL 120 //3600
#define NUM_RETRIES 2

/*****DEFININDO PINOS*****/

// Constants
```

Figura 25 - Identificação do MDA para transmissões de dados - Identificação na programação do *firmware*
Fonte: *print screen* da área de cadastramento do MDA na plataforma *web* e do *firmware* de programação do MDA.

4.2 Caracterização do sistema como projeto de código aberto

Para avaliar se o sistema estudado se enquadra como projeto de código aberto, foram observadas suas características de:

Distribuição: Foram realizadas pesquisas para identificar a existência de repositório eletrônico disponibilizando a documentação do projeto avaliado de forma acessível e gratuita.

Documentação: Foram observados os arquivos de documentação do projeto para avaliar sua qualidade em relação à clareza, completude e facilidade de utilização de forma a verificar se é possível sua replicabilidade com a documentação disponível.

Licenças: Foi verificada a disponibilidade de licenças que permitam a utilização do projeto de forma livre e gratuita.

4.3 Custos para construção do hardware

Foram realizadas cotações durante o último trimestre do ano de 2018, para levantamento dos custos de construção de uma unidade do MDA. As cotações limitaram-se a lojas *on-line* de empresas nacionais e estrangeiras. Foram consultadas lojas especializadas em fabricação de PCI, vendas de eletrodos, vendas de componentes eletrônicos e de montagem de componentes em placas de circuito impresso. Os valores das cotações apresentados em dólar foram convertidos utilizando a cotação de 1 US\$ = R\$ 3,80.

Para a confecção das PCI, levou-se em consideração a fabricação de cinco conjuntos de placas, sendo 1 conjunto = 4 placas *shields* (Figura 16) assim, o valor total da cotação foi dividido para extração do valor de um único conjunto de placas. Os valores referentes aos fretes e demais taxas ou tributações para aquisição dos materiais não foram considerados na composição dos custos de construção do *hardware* pois variam de acordo com a forma e local de aquisição.

4.4 Avaliação do funcionamento do sistema

Para avaliação da funcionalidade do sistema de monitoramento, foi realizada a instalação e configuração de sua plataforma *web*, nas instalações da Universidade Federal do Amapá-UNIFAP. A aplicação foi instalada no Núcleo de Tecnologia da Informação-NTI, que disponibilizou para esta avaliação, uma máquina virtual com as características abaixo descritas (Tabela 4).

Tabela 4 - Características da máquina virtual criada na UNIFAP.
Fonte: NTI/UNIFAP.

Tipo	Características
Servidor	Device: VMware System: VMware product: VMware Virtual Platform
Mobo	Intel model: 440BX Desktop Reference Platform
BIOS	Phoenix v: 6.00 date: 09/30/2014
Processador	Single core AMD Opteron 6220 cache: 2048 KB speed: 2991 MHz (max)
Armazenamento	HDD Total Size: 32.2GB
Memória	2GB
Sistema Operacional	"Debian GNU/Linux 9 (stretch)" X64

Para a instalação local foram utilizados os arquivos disponíveis no repositório GitHub no endereço <https://github.com/InfoAmazonia/rede-site> e seguidas as orientações de configuração dispostas. Por fim, foi instanciada a plataforma no endereço <http://132.255.99.36:3000/>.

Estando a plataforma *on-line*, foram utilizadas suas funcionalidades para realizar o cadastramento de usuários administradores e dos equipamentos MDA, permitindo sua comunicação através do protocolo HTTP para registro das informações das medições.

Para a análise do funcionamento do hardware, foram utilizados os medidores MDA1 e MDA2 que foram testados em bancada, utilizando os ambientes controlados dos Laboratórios de Saneamento Ambiental do curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá e no Laboratório de Biotecnologia da Amazônia- LABTAM, da Universidade Estadual do Amapá – UEAP (Figura 26).

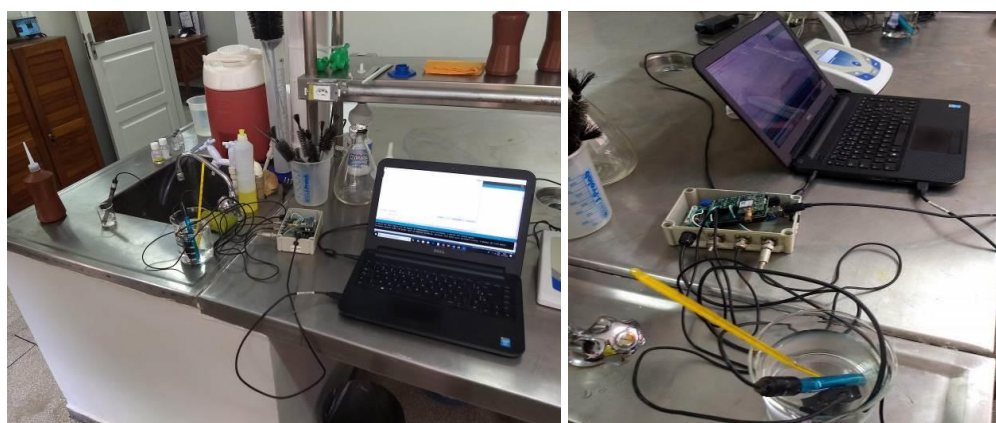


Figura 26 - Testes e calibração dos MDA em bancada.
Fonte: Própria (2019).

Antes dos testes, os equipamentos foram calibrados e configurados utilizando os arquivos de *firmwares* disponíveis no repositório GitHub no endereço <https://github.com/InfoAmazonia/rede-firmware>. Para a calibração dos equipamentos foram utilizadas as soluções descritas na tabela abaixo (Tabela 5).

Tabela 5 - Soluções de calibração utilizadas no teste.
Fonte: Própria (2019).

Parâmetro	Solução para calibração
pH	Solução Tampão pH 4,0
	Solução Tampão pH 7,0
	Solução Tampão pH 10,0
EC	Solução Padrão de Condutividade 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$
	Solução Padrão de Condutividade 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

A rotina de funcionamento dos medidores MDA1 e MDA2 foi configurada com os mesmos parâmetros de funcionamento. Em seu *firmware* foram ativados os sensores de pH, ORP, EC e temperatura. Foram também ativadas as funcionalidades de comunicação SMS e HTTP e configurado seus endereçamentos de destino das postagens das medições. Foram ainda atualizadas as informações de ajustes de medição, a partir dos valores obtidos nos programas de calibração utilizado anteriormente.

Durante os testes, os módulos eletrônicos de análise MDA1 e MDA2 ficaram dispostos em bancada e conectados a um computador para acompanhamento das medições e transmissões. Foram medidos parâmetros físico-químicos da água, através dos sensores de temperatura, pH, ORP e condutividade elétrica que ficaram submersos em becker contendo água da torneira.




Para avaliar a capacidade de funcionamento regular e contínuo, estabilidade das leituras e capacidade de transmissão dos dados pelos equipamentos, os módulos de análises ficaram instalados nos períodos de 06 a 21 de novembro de 2018 e 07 a 19 de janeiro de 2019, em recipientes plásticos distintos, contendo água de poço artesiano, trocada a cada quatro dias, realizando leituras dos sensores a cada 30 minutos e enviando as informações das medições através da rede de *internet* celular para o servidor de *internet* da UNIFAP e por serviço SMS para um número de celular previamente endereçado na programação do MDA.

De mesma forma, foi avaliado o servidor *web*, verificando sua capacidade de recepção e registro dos dados transmitidos pelos medidores e a funcionalidade dos API integrados na plataforma.

4.5 Testes comparativos

Foram realizados testes comparativos das medições obtidas pelo equipamento avaliado em relação às medições obtidas por equipamentos comerciais, de forma a verificar a compatibilidade das medições entre os equipamentos. Os parâmetros observados foram pH, ORP, EC e temperatura. Para essa análise foram utilizados os medidores de comparação (MC) com as características descritas na tabela abaixo (Tabela 6):

Tabela 6 - Descrição dos instrumentos de comparação.
 Fonte: Manuais de utilização dos instrumentos.

Parâmetro medido	Descrição	Imagem
ORP	Medidor Digital de ORP Modelo 2069 Faixa: -1999 mV a 1999 mV Resolução: 1mV Precisão: ± 5 mV Temperatura de operação: 0-50 °C	
pH	Medidor Digital de pH Marca ATC Modelo PH-009(I) Faixa: 0,0 a 14,0 pH Resolução: 0,1 pH Precisão: $\pm 0,1$ pH (20 °C) Temperatura de operação: 0-50 °C	
EC Temperatura	Medidor Digital de EC, TDS e Temperatura Marca: BMAX Modelo E-1 Faixa de Medição: Condutividade: 0 à 9999 μ S/cm TDS: 0 a 9999ppm Temperatura: 0,1 a 80,0 °C ou 32,0 a 176 °F Precisão: $\pm 2\%$	

Antes dos testes, foram realizadas calibrações do medidor testado e dos medidores de comparação que permitiam a realização desse procedimento.

Para esses testes, cada sensor do MDA foi colocado individualmente em um recipiente de vidro contendo amostra a ser medida. O medidor de comparação ao parâmetro observado foi colocado em um segundo recipiente contendo solução com as mesmas características da amostra medida. Os demais sensores que não estavam sendo observados, foram desativados na programação do firmware do MDA.

Cada sensor foi submetido a três ou quatro amostras diferentes conforme tabela 7. Para cada amostra foram realizadas seis medições, com intervalos de dois minutos entre cada medição. Para cada medida obtida automaticamente com MDA, foram registradas simultaneamente as

medidas do medidor de comparação. Os dados coletados foram analisados estatisticamente, foi realizado o teste de hipóteses por meio do teste t de *student* para verificar a existência de compatibilidade nas medições entre os equipamentos.

Tabela 7 - Descrição das amostras medidas.

Fonte: Própria (2019).

Amostras		pH
1	Água de poço	
2	Água engarrafada marca A	
3	Água de poço 200 ml + 10 ml de suco de limão	
4	Água de poço 200 ml + 0,3g de regulador de pH	
Amostras		EC ($\mu\text{S/cm}$)
1	Água de poço	
2	Água engarrafada marca A	
3	Água de poço 200 ml + 3 g de cloreto de sódio	
4	Água de poço 200 ml + 6 g de cloreto de sódio	
Amostras		ORP (mV)
1	Água de poço	
2	Água engarrafada marca A	
3	Água de poço 1000 ml + 10ml de hipoclorito de sódio	
Amostras		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	Água resfriada	
2	Água temperatura ambiente	
3	Água aquecida	

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do sistema como projeto de código aberto

Em relação à distribuição da documentação, observou-se facilidade no acesso aos arquivos de documentação do projeto, pois a organização idealizadora disponibilizou os arquivos de desenvolvimento do sistema na plataforma digital da GitHub, dividindo-os em subprojetos para melhor organização e compreensão, mantendo-os em diretórios distintos para cada subprojeto (Tabela 8). Disponibilizou ainda, os links para os diretórios no *website* do projeto, facilitando dessa forma sua relação e divulgação.

Tabela 8 - Diretórios dos arquivos de desenvolvimento do sistema avaliado.
Fonte: GitHub InfoAmazonia, 2017.

Tipo	Diretório
<i>Design de hardware</i>	https://github.com/InfoAmazonia/rede-hardware
<i>Firmware</i> utilizado no <i>hardware</i>	https://github.com/InfoAmazonia/rede-firmware
<i>Website</i> para visualização de dados	https://github.com/InfoAmazonia/rede-site
<i>Backend</i> SMS (aplicativo que adiciona funcionalidade para o <i>website</i> , permitindo receber dados dos equipamentos e envio de alertas para as comunidades inscritas)	https://github.com/InfoAmazonia/rede-sms

No diretório com a documentação do *hardware* foi possível encontrar a licença *CERN Open Hardware License* 1.2, licença característica de projetos de código aberto, definindo suas características de livre e gratuita utilização e de modificação do projeto. Observou-se a disponibilidade de arquivos do projeto eletrônico e construtivo dos *shields* que compõem o MDA. De posse dos arquivos pode-se utilizar *softwares* de desenho de circuitos eletrônicos, para visualização e extração de informações como esquemático, lista de componentes eletrônicos e layout das PCI. Não foram encontrados arquivos de orientação à montagem, configuração ou regulagem dos equipamentos. Esses arquivos poderiam auxiliar a construção e utilização do MDA de forma correta, além de serem fundamentais à correta compreensão do projeto e estímulo a novos desenvolvimentos.

Ainda em relação a documentação do *hardware*, há de se observar que o sensor de condutividade desenvolvido para utilização com o MDA, teve seu desenvolvimento baseado em outro projeto de código aberto denominado Coqui BBv1.0 disponível na plataforma digital da Public Lab. Porém, apesar de sua menção e disponibilidade de link para a plataforma do projeto base desse sensor, não foi disponibilizado na documentação do projeto estudado, um

arquivo contendo seu desenho adaptado, dificultando a clara compreensão de sua estrutura construtiva.

Há de se observar também, que apesar da montagem do *hardware* ser modular, avaliou-se como necessária uma melhor distribuição da composição dos módulos, uma vez que sua documentação apresenta o módulo 1 sendo composto pelo Arduino MEGA e fonte de alimentação, porém somente esses dois componentes não habilitam o equipamento a realizar nenhuma das medições as quais o equipamento se dispõe, sendo necessário portanto acrescentar o *shield* primário a esse módulo, que possibilitará a leitura de alguns parâmetros e habilitará o equipamento para acoplamento de outros módulos de sensores. Identificou-se ainda a necessidade de modificações nas conexões dos sensores e módulos, de modo a facilitar a montagem sem haver risco de inversão de conexões.

Em relação a documentação dos softwares, no repositório do *firmware* foi possível obter os arquivos do código fonte da programação de controle e de calibração do MDA, para utilização com o Arduino IDE ou outros *softwares* de programação. Observou-se a disponibilidade de arquivo contendo a licença MIT, concedendo permissão para livre e gratuita utilização dos programas. Os arquivos de código fonte dos firmwares do equipamento demonstraram estruturas construtivas bastante organizadas e bom detalhamento de suas funções, facilitando sua utilização e adaptações por programadores. Não foi encontrado no diretório nenhum arquivo que detalhe os procedimentos para configuração dos *firmwares* para funcionamento ou calibração do MDA.

O repositório contendo a documentação para instalação e configuração do servidor com o *website* para visualização de dados de medições é bem detalhada, dispondo de orientações sobre sua instalação e utilização, porém suas bibliotecas de funções encontram-se desatualizadas, impedindo seu funcionamento até a solução desta questão, demonstrando a necessidade de modificação da versão dos arquivos disponíveis no repositório ou a inclusão de orientações quanto a necessidade de realização desse procedimento. Foi observada a disponibilidade de licença do tipo MIT.

No repositório da documentação do aplicativo que adiciona ao *website* a funcionalidade de alerta por SMS, não observou-se nenhuma instrução sobre procedimentos de instalação ou requisitos necessários à sua implementação junto ao servidor.

De modo geral, em relação a sua documentação, observou-se que o sistema estudado necessita de melhorias e complementações que facilitem sua compreensão e utilização. Apesar da falta ou incompletude de documentação ser uma situação bastante comum em projetos e publicações científicas que envolvam tecnologias construtivas de código aberto, ainda assim, são alternativas que podem despertar o interesse pela utilização por pessoas com conhecimentos na área, que poderão somar novos conteúdos com capacidade de desenvolver avanços do projeto ou melhorias em relação a sua documentação, possibilitando que novas pessoas possam usufruir desses conhecimentos.

Mesmo apresentando necessidades de melhorias, observou-se que o sistema avaliado, possui todos os elementos básicos que o caracterizam como sendo um projeto de código aberto.

5.2 Custos para construção do hardware

Os preços descritos na tabela 9, referem-se aos menores valores obtidos nas cotações, para a construção de uma unidade do MDA. A totalização do orçamento demonstrou que o equipamento pode ser construído a um custo muito abaixo da média cobrada por equipamentos de tecnologias consolidadas.

Tabela 9 - Custos para construção de uma unidade do MDA.
Fonte: Própria (2019).

Componente	QTD	Valor R\$
Sensor de temperatura da água DS18B20	1	16,00
Eletrodo combinado de potencial hidrogeniônico (pH) da água	1	35,80
Eletrodo combinado de potencial de oxidação/redução (ORP)	1	65,19
Sensor de condutividade elétrica da água (montado)	1	31,40
Fabricação das placas de circuito impresso – PCI (4 placas)	1	10,29
Componentes eletrônicos para montagem das PCI (Tabela 1)	1	87,55
Montagem de componentes em placas de circuito impresso	1	87,00
Arduino MEGA 2560 (Clone)	1	55,00
Trava cabo telescópico	1	6,00
Terminal olhal 1 mm	6	6,00
Conector BNC macho com mola	1	7,00
Conector BNC fêmea para painel	3	21,00
Conector 89400-0420 fêmea para sensores	4	4,00
Conector 87369-0400 macho para sensores	4	4,00
Parafusos com porcas e arruelas	12	6,00
Cabos	1	2,00
Conector Plug Jack P4 fêmea J4 2, 1x5, 5 painel	1	2,00
Adafruit FONIA MiniGSM, modelo SIM 800L	1	28,00
Fonte de alimentação 9V e 1A com plug P4	1	14,00

Caixa Plástica Pbl120 Prot. Ip65 100 x120 x 50mm	1	35,00
Total		R\$ 523,23

Partindo da premissa de ser um projeto que disponibiliza as informações de construção, não foram considerados custos para instalação do software de monitoramento.

Observou-se em lojas virtuais, que o valor de comercialização de uma unidade do Medidor multiparâmetro HI9829 chegou a R\$ 37.815,00 (PORTAL ADESÕES, 2019). Em comparação ao custo de produção do MDA, demonstra alta viabilidade de produção do hardware. Existindo ainda a possibilidade de redução do custos, caso haja a produção de grande quantidade de equipamentos.

5.3 Testes de funcionamento do sistema

Os testes demonstraram funcionamento regular do MDA, foi possível constatar que o equipamento é capaz de realizar leituras, em intervalos previamente definidos, de todos os sensores disponíveis, inclusive de outros parâmetros como pressão atmosférica e temperatura do equipamento que não serão discutidos aqui por não serem foco desse estudo.

Ao realizar o teste de simulação de perda de alimentação observou-se que o equipamento é capaz de iniciar automaticamente a sequência de funcionamento programada, sem a necessidade de reprogramação ou interferência humana.

Constatou-se também à capacidade de transmissão das medições, tanto pelo serviço de mensagens SMS, quanto por postagens utilizando a rede de *internet* da telefonia celular.

Em relação a transmissão das medições por SMS, observou-se que no método de transmissão pelo *shield* GSM do MDA, as mensagens recebidas não esboçam corretamente as informações de data e hora das medições (Tabela 10), demonstrando necessidade de correções no serviço.

Tabela 10 - Exemplos de formato das informações transmitidas.

Fonte: Própria (2019).

Método	Exemplo de dados recebidos.
MDA	2"04-01-01 T00:00:22-03:00; RH=0; Ta:C=31.0; AP:Pa=101206; E=0; pH=7.15;
GSM	ORP:mV=-151.69; EC:S/m=-326.9; Tw:C=29.8

Os dados coletados durante o período de testes, estão demonstrados na figura 27.

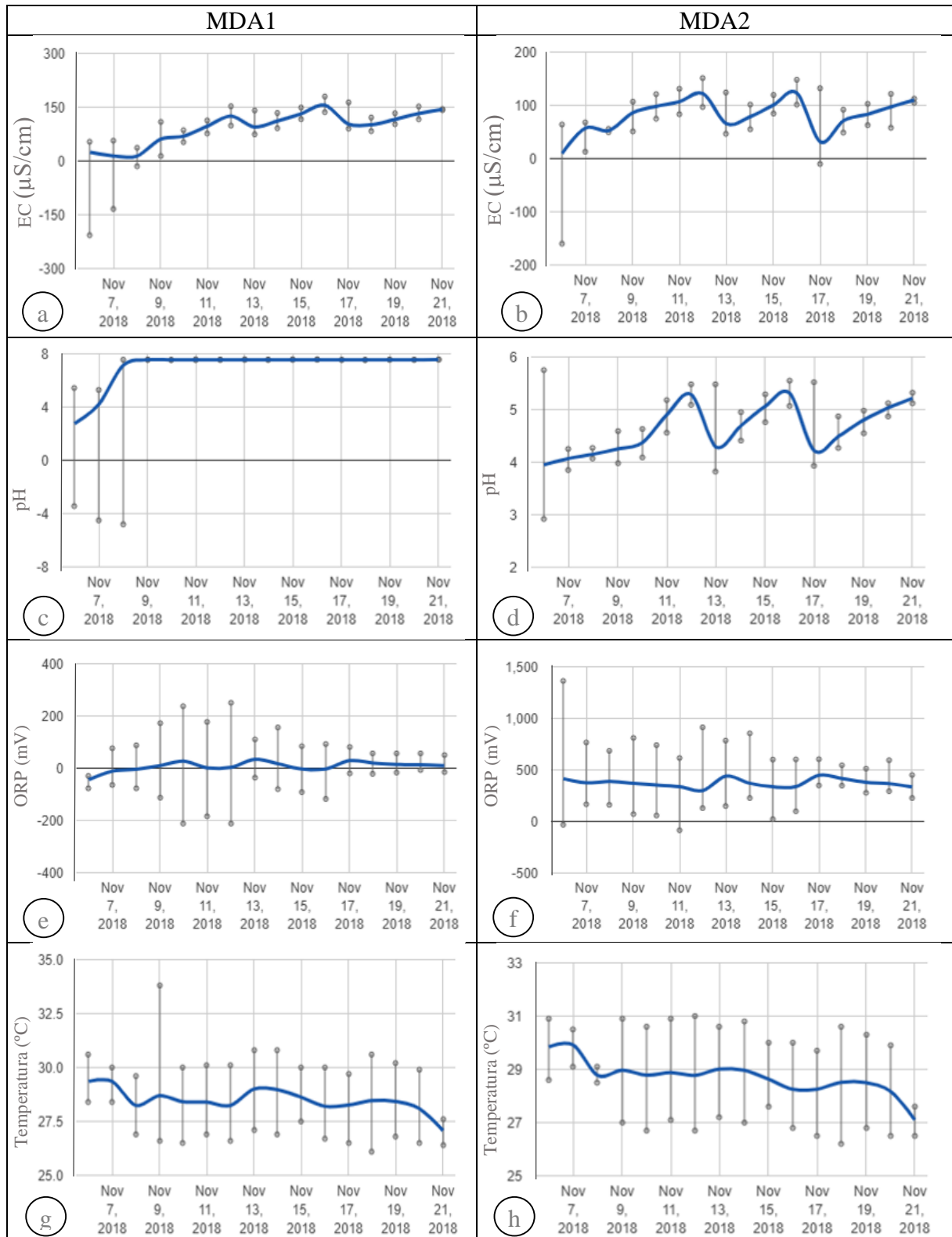


Figura 27 - Medições de parâmetros da água: teste de equipamentos em duplicata.

Fonte: *print screen* da aplicação na plataforma *web* instalada na UNIFAP.

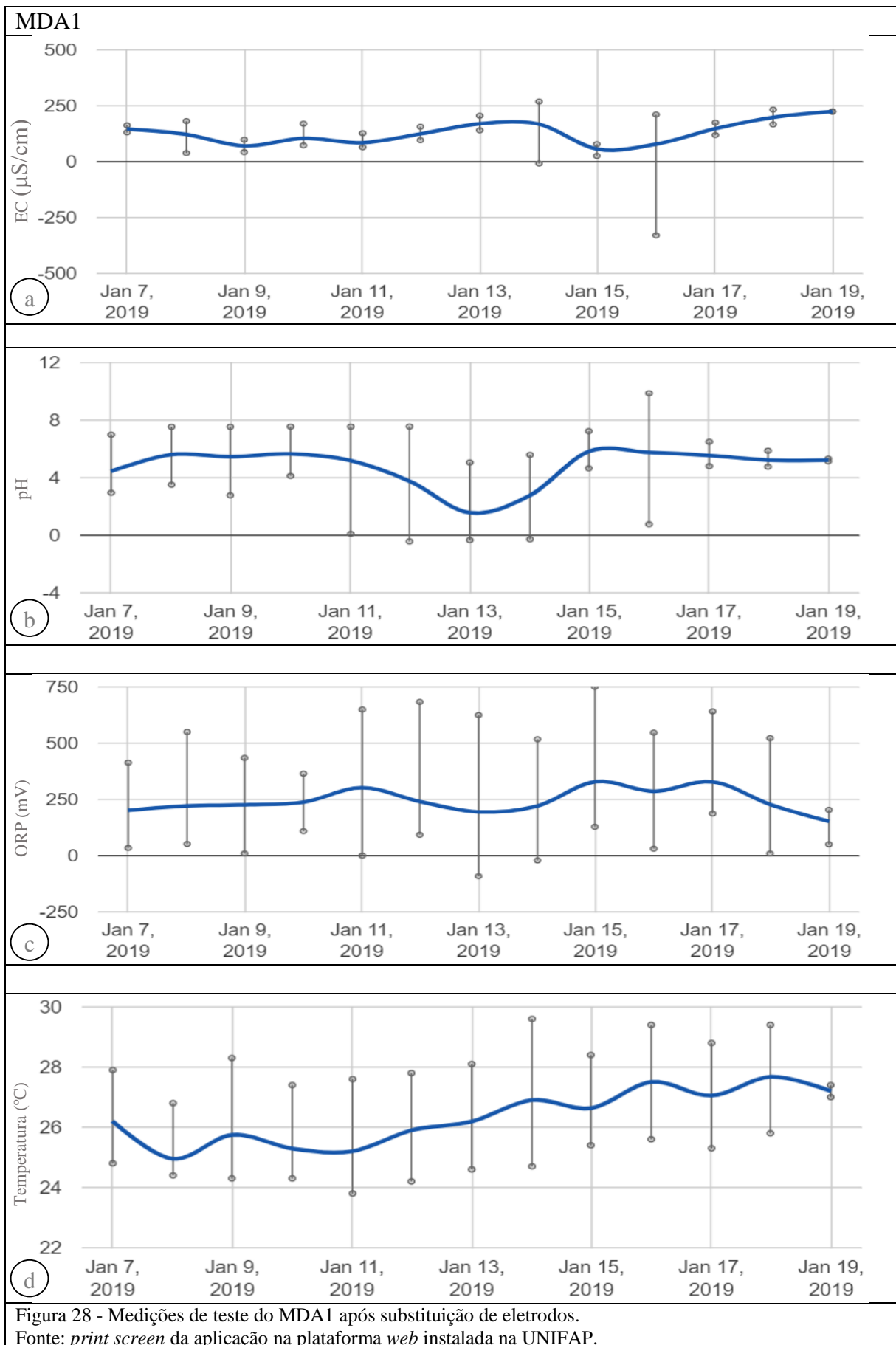
Os gráficos foram gerados pela API Google Chart integrada à plataforma *web*, demonstrando a capacidade do sistema em realizar recepção, armazenamento, tratamento e visualização das medições obtidas pelos equipamentos MDA, e consequentemente demonstrando eficiência de suas funcionalidades de monitoramento.

Nos gráficos a linha azul indica a média das leituras diárias e as barras de erro representam as variações das leituras, demonstrando os valores mínimos e máximos observados em um dia. Considerando que os equipamentos estiveram sob as mesmas condições de teste, observou-se ao realizar a comparação dos gráficos, intensa variação entre as medições realizadas pelos MDA1 e MDA2 demonstrando necessidade de ajustes ou avaria nos equipamentos, fato observado com maior intensidade nas medições de pH e ORP do MDA1 (Figura 27-c e 27-e), sugerindo possível avaria nos circuitos ou nos eletrodos utilizados nesse medidor.

Como alternativa para ajustar as medições desses dois parâmetros do equipamento, foi realizada a substituição dos eletrodos, primeiramente utilizando os eletrodos do MDA2 e posteriormente por eletrodos novos, que corrigiram as distorções nas medições.

Durante a calibração dos equipamentos para novos testes, o MDA2 passou a apresentar dificuldades para a realização das medições, realizando apenas uma ou nenhuma leitura e transmissão. Na tentativa de solucionar o problema, foram realizados testes nos componentes do *hardware*, limpeza dos contatos eletrônicos com álcool isopropílico 99,8%, recomendado para esse fim, foram ainda realizados novos carregamentos do *firmware*, porém não obteve-se êxito no funcionamento do equipamento, apontando possível avaria no *shield* primário, não sendo mais possível a utilização do MDA2 nos testes.

No MDA1, após substituição dos eletrodos de pH e ORP por novos, o medidor passou por novos testes no período de 07 à 19 de janeiro de 2019. Os dados coletados durante esse período, estão demonstrados nos gráficos que seguem (Figura 28).



Esses últimos testes demonstraram leituras com valores médios diários adequados as características da amostra, demonstrando correto funcionamento com os novos eletrodos, porém percebeu-se também a presença de grandes variações entre os valores diários nos parâmetros, com maior destaque ao pH e ORP (Figura 28-b e 28-c) e ainda a presença de dados discrepantes nos parâmetros EC, pH e ORP (Figura 28-a, 28-b e 28-c). Os valores de temperatura demonstraram bons resultados e sua variação diária correspondeu adequadamente aos horários e climas dos dias de medição.

5.4 Testes comparativos de medições entre o equipamento MDA e equipamentos comerciais

Os dados das medições coletados na análise comparativa estão registrados na tabela 11, juntamente com os resultados dos cálculos estatísticos dos dados e foram utilizados para avaliação da compatibilidade entre as medições dos dispositivos. As amostras utilizadas nos testes foram descritas na seção 4.5, na tabela 7.

Tabela 11 – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.
Fonte: Própria (2019).

pH Medições	Amostra1		Amostra2		Amostra 3		Amostra4	
	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC
1	4,8	4,8	5,21	5,4	2,95	3,2	8,12	7,7
2	4,81	4,8	5,42	5,4	3,48	3,2	7,36	7,7
3	4,79	4,8	5,6	5,4	4,22	3,2	7,42	7,7
4	4,61	4,8	5,02	5,4	3,7	3,2	7,73	7,7
5	4,81	4,8	5,46	5,4	3,25	3,2	7,54	7,7
6	4,83	4,8	5,67	5,4	3,28	3,2	7,92	7,7
Dados estatísticos								
Média	4,775	4,8	5,3966	5,4	3,48	3,2	7,6816	7,7
Desvio padrão	0,0819	0	0,2438	0	0,4404	0	0,2977	0
Incerteza relativa	1,15%		5,06%		21,26%		5,71%	
Erro relativo	0,52%		0,06%		8,75%		0,24%	
Teste t duas amostras em par para média								
t estatístico	0,9371							
t crítico bi-caudal	2,0686							
P bi-caudal	0,3583							
EC Medições	Amostra1		Amostra2		Amostra 3		Amostra4	
	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC
1	85,4	88	4,6	16	3836	3864	5408,2	5490
2	86	88	4,2	16	3831,9	3864	5403,9	5490

Tabela 12 (continuação) – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.
Fonte: Própria (2019).

3	86,2	88	4,5	16	3835,5	3865	5405,4	5490
4	86,2	88	4,5	16	3837	3865	5410,6	5492
5	86,3	88	4,5	16	3839,2	3865	5411,1	5492
6	86,4	88	4,8	16	3831,7	3865	5407,8	5492

Dados estatísticos

Média	86,0833	88	4,5166	16	3835,21	3864,66	5407,83	5491
Desvio padrão	0,3600	0	0,1940	0	2,9362	0,5163	2,8232	1,0954
Incerteza relativa	0,37%		6,27%		0,10%		0,06%	
Erro relativo	2,18%		71,77%		0,76%		1,51%	

Teste t duas amostras em par para média

t estatístico	-4,8020
t crítico bi-caudal	2,0686
P bi-caudal	0,000076

ORP Medições	Amostra1		Amostra2		Amostra 3			
	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC		
1	240,07	251	306,8	306	614,42	611		
2	246,58	250	292,15	309	617,67	617		
3	241,7	249	313,31	312	625,81	622		
4	238,44	247	297,04	311	625,81	627		
5	236,82	245	303,55	312	633,95	631		
6	244,95	245	295,41	311	632,32	637		

Dados estatísticos

Média	241,426	247,833	301,376	310,166	624,996	624,166		
Desvio padrão	3,7690	2,5625	7,9508	2,3166	7,7545	9,4745		
Incerteza relativa	2,13%		3,96%		1,43%			
Erro relativo	2,59%		2,83%		0,13%			

Teste t duas amostras em par para média (análise de dados agrupados)

t estatístico	-3,0265
t crítico bi-caudal	2,1098
P bi-caudal	0,0076

Teste t duas amostras em par para média (análise por amostras)

t estatístico	-3,3541		-3,2164		0,2046			
t crítico bi-caudal	0,0142		0,0161		0,4239			
P bi-caudal	0,0284		0,0323		0,8478			

Temperatura Medições	Amostra1		Amostra2		Amostra 3			
	MDA	MC	MDA	MC	MDA	MC		
1	16,4	16,7	28	28	48,2	47		
2	18,1	18	28	28	47,6	47		
3	19,5	20	28	28	46,6	47		
4	20,3	20,3	28,1	28	45,8	46		
5	21,1	20,8	28,1	28	44,9	45		
6	21,9	22,2	28,1	28	44,4	44		

Tabela 13 (continuação) – Comparação de medições realizadas pelo MDA e por medidores comerciais.
 Fonte: Própria (2019).

Dados estatísticos							
Média	19,55	19,66	28,05	28	46,25	46	
Desvio padrão	2,0255	1,9896	0,0547	0	1,4963	1,2649	
Incerteza relativa	12,02%		0,18%		4,22%		
Erro relativo	0,59%		0,18%		0,54%		
Teste t duas amostras em par para média							
t estatístico	0,6551						
t crítico bi-caudal	2,1098						
P bi-caudal	0,5211						

Esses dados foram utilizados para realizar a comparação entre medições de cada parâmetro medido pelo MDA e a respectiva medição por medidor comercial (MC). Para os testes de hipóteses, considerou-se que ao nível de 5% de significância, a hipótese nula representa a condição em que não há diferença significativa entre as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC, logo (H_0 : média MDA - média MC = 0) e como hipótese alternativa, a condição em que há diferença significativa entre as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC, logo (H_1 : média MDA - média MC \neq 0). As medições do parâmetro pH, demonstraram alta equivalência entre as médias das medições de ambos os dispositivos, apresentando pequenas variações entre as medições das amostras 1, 2 e 4, e maior variação e distanciamento da média da amostra 3. Observou-se que apesar do MDA ter apresentado maior variação para a amostra 3, ainda assim, o equipamento foi capaz de medir a intensidade da condição ácida da amostra, bem como a condição alcalina da amostra 4. Analisando os valores de erro relativo, observou-se valores menores de 1% para três das quatro amostras, indicando alta exatidão das leituras. De mesma forma, observou-se também valores de incerteza relativa menores de 6% elevando-se na amostra 3, mas ainda sim indicando bom percentual de precisão das medições do MDA. Os valores calculados no teste de hipóteses, demonstraram que ao nível de 5%, não há diferença significativa entre as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC, logo aceitou-se a hipótese nula, demonstrando que para esse parâmetro, as medições realizadas pelo MDA são equivalentes as realizadas por medidores de tecnologia consolidada.

As medições do parâmetro condutividade, demonstraram pequenas variações entre as medições de cada amostra, demonstraram também diferenças entre as medidas obtidas por cada dispositivos, fato mais perceptível na amostra 2, porém ao analisar os valores de incerteza relativa, observou-se que o MDA apresentou percentuais abaixo de 6,3%, demonstrando alta proximidade entre os valores medidos para cada amostras, logo indicando alta precisão e baixa

exatidão para as medições desse parâmetro, levando portanto à interpretação de possível necessidade de calibração e ajustes do MDA para esse parâmetro. Os resultados para o teste de hipóteses, apontaram que, ao nível de 5% de significância, as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC são significativamente diferentes, logo rejeitou-se a hipótese nula e aceitou-se a hipótese alternativa, demonstrando-se que nas condições testadas, não é possível afirmar que as medições realizadas pelo MDA para o parâmetro condutividade são equivalentes às realizadas por medidores de tecnologia consolidada.

As medições do parâmetro potencial de oxidação-redução demonstraram alta sensibilidade por ambos os medidores, mesmo assim, observou-se que as medições realizadas entre os equipamentos foram aproximadas, demonstrando pequenas diferenças e variações. Os valores de incerteza e erro relativo, demonstraram percentuais menores de 4%, indicando boa precisão e exatidão das medições. Todavia, ao realizar o teste de hipóteses, analisando os dados das amostras de forma agrupada, os resultados apontaram que, ao nível de 5% de significância, as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC são significativamente diferentes. Foram ainda, realizados testes de hipóteses para as sequências de medições de cada amostra, aos quais constatou-se que, para a amostra 3 não há diferença significativa entre as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC, ao nível de 5% de significância. Dessa forma, em termos funcionais, considerando-se a sensibilidade do parâmetro medido, a proximidade das medições observadas e o desempenho do MDA na medição das amostras, detectando inclusive o elevado valor do ORP da amostra 3, correspondente à água que foi submetida a processo de desinfecção, conclui-se que o MDA foi capaz de realizar medições do parâmetro ORP com exatidão admissível.

Para as medições do parâmetro temperatura foi possível observar boa aproximação entre as medições individuais e entre as médias das amostras. Para as amostras 1 e 3, correspondentes a água resfriada e água aquecida, devido ao processo de estabilização das temperaturas das amostras com a temperatura ambiente, foram observados maiores variações na sequência das seis medições de cada amostra, mesmo assim, as medições realizadas com o MDA apresentaram medidas de alta exatidão em relação às obtidas com o medidor comparativo. Os valores calculados no teste de hipóteses, demonstraram que ao nível de 5%, não há diferença significativa entre as médias das medições realizadas pelo MDA e pelo MC, logo aceitou-se a

hipótese nula, demonstrando que para esse parâmetro, as medições realizadas pelo MDA são equivalentes as realizadas por medidores de tecnologia consolidada.

5.5 Conclusões sobre o sistema avaliado

O sistema avaliado demonstrou ser funcional, possuir autonomia para medição e registro de informações, foi possível observar através dos testes de comparação, que o MDA é capaz de realizar medições dos parâmetros pH e temperatura com boa precisão e exatidão. Para os parâmetros condutividade elétrica e potencial de oxidação-redução, apesar de durante os testes, terem realizado medições que permaneceram fora da margem de 95% de exatidão, mesmo assim, apresentaram medidas com boa proximidade em relação aos valores comparados, demonstrando potencial de utilização para aplicações que não necessitem de alto rigor de exatidão.

Há de se destacar que apesar do bom desempenho do MDA nos testes em bancada, os equipamentos avaliados foram construídos no ano de 2015 e utilizados em campo durante dois anos, logo os resultados de sua avaliação podem ter sofrido influências que podem ter reduzido a eficiência do equipamento, devido a possíveis desgastes dos componentes. Razão ao qual pode-se deduzir como possível causa da avaria de um dos equipamentos utilizados nesse estudo.

Apesar de não terem sido realizados testes de robustez, foi possível identificar que o conjunto eletrônico do MDA foi montado em uma caixa plástica com índice de proteção IP65, indicando que o dispositivo está protegido contra jatos d'água.

Quanto a reprodutibilidade do projeto, seu desenvolvimento evidenciou ser totalmente de código aberto, com a utilização de Arduino, *shields e softwares*, com a documentação disponível em repositórios abertos e com a disponibilidade de licenças que permitem livre utilização, porém, sua documentação demonstrou necessidade de atualizações e maiores detalhamentos, que facilitem a completa compreensão do sistema. Esse é um fator que compreende-se ser de fundamental atenção, pois poderá evitar o desestímulo à utilização do projeto em decorrência da necessidade de conhecimentos em múltiplas áreas tanto para compreensão do sistema quanto para soluções de questões que podem impossibilitar o funcionamento de sua versão atual. Compreende-se portanto que a ausência de maiores

detalhamentos na documentação do projeto pode vir a implicar em aumento no custo final de utilização do sistema devido a possível necessidade de contratação de equipe multidisciplinar.

Observou-se que a plataforma *web* do sistema de recepção e tratamento dos dados foi projetada para oferecer informações sobre as medições de recursos hídricos de forma transparente, através das aplicações incorporadas, que agregam funcionalidades e possibilitam fácil compreensão e acompanhamento das informações. Dessa forma, a plataforma demonstrou ser uma ferramenta apropriada para o gerenciamento de grande quantidade de dados gerados por muitos medidores distribuídos espacialmente, além de dispor de um ambiente adequado tanto a pesquisadores como também aos cidadãos comuns interessados nessas informações.

Em relação a construção do *hardware*, avaliou-se que apesar de apresentar componentes de fácil aquisição como o Arduino, *shield* GSM e componentes da estrutura externa do equipamento, a construção dos demais *shields* do projeto podem demonstrar certa dificuldade, visto que requer aquisição de componentes eletrônicos de pouca disponibilidade nacional e a contratação de empresas especializadas para a fabricação das PCI e montagem dos componentes microeletrônicos.

Ainda em relação à fabricação das PCI, averiguou-se que apesar da existência de muitas empresas nesse ramo, o custo para fabricação das quatro placas pode ser muito alto, chegando a valores de até R\$ 1.250,00. Uma das alternativas mais viáveis nacionalmente foi apresentada por uma empresa que opera reunindo projetos de diversos criadores que são posteriormente reorganizados em um projeto maior que possibilite menor perda de matéria prima, possibilitando dessa forma a redução dos custos de fabricação de projetos de dimensões reduzidas.

Além desses elementos, há de se atentar à pouca disponibilidade e alto custo de aquisição dos sensores eletroquímicos que são acoplados ao MDA, no qual presenciou-se propostas de fornecimento dos eletrodos de pH e ORP em valores até R\$ 4.600,00.

Esses itens chamaram atenção à necessidade de uma boa administração dos fatores relacionados à construção do *hardware*, pois poderão inviabilizar a utilização do projeto.

Apesar dessas questões que podem apresentar-se como desafios a utilização do projeto, avaliou-se que o sistema apresenta características que lhe atribuem vantagens em comparação a outros equipamentos, pois comprovou reunir funcionalidades encontradas em poucos dispositivos e sistemas comerciais ou de código aberto, destacando sua relevância tanto pela praticidade de realização de medições e registros automatizados de múltiplos parâmetros ambientais, quanto pelo custo de implantação e manutenção.

Assim sendo, avaliou-se que a reprodutibilidade do sistema de análise e monitoramento de recursos hídricos a partir dos arquivos disponibilizados em repositórios abertos, comprovou ser possível porém, irá requerer conhecimentos em áreas multidisciplinares, disponibilidade de tempo para compreensão e implantação e boa administração de recursos.

6 CONCLUSÕES

Durante esse trabalho buscou-se analisar as contribuições das tecnologias de código aberto para as mais diversas necessidades da sociedade civil e científica, com enfoque na área das ciências ambientais e destaque para sua aplicabilidade na análise e monitoramento de recursos hídricos.

O movimento código aberto é um dos vários braços do que veio a se denominar ciência aberta. Um movimento que está relacionado à cultura e ao conhecimento, à acessibilidade da informação e aos produtos e processos dela advindos. Observou-se nesse estudo que esses movimentos estão em intensa ascensão, e na busca por uma cronologia ou motivação que justificasse esse aumento, deparou-se com um movimento abrangente, com muitas vertentes e vários fatores que contribuem para o seu desenvolvimento.

Cronologicamente há várias fontes que associam o início do movimento código aberto ao desenvolvimento e aprimoramento dos *softwares* de computadores, porém, é inegável que desde os períodos mais primórdios, a cognição impulsiona o homem à prática da construção de objetos e ferramentas que facilitem suas atividades cotidianas. Essa prática perdura na história, ultrapassando gerações modificando-se e absorvendo às técnicas e ferramentas disponíveis em cada período, chegando atualmente ao movimento *maker* apoderado das tecnologias eletrônicas, informacionais e informatizadas, que lhe proporcionou dinamismo, interação, colaboração, maturação, maior segurança e credibilidade.

Evidenciou-se neste estudo, um crescente interesse na utilização de projetos de código aberto pela comunidade científica, podendo-se afirmar que a intensificação desta relação está diretamente relacionada aos benefícios advindos das características desse tipo de projeto, principalmente pela possibilidade de acesso a sistemas customizáveis, que permitam a realização de tarefas com maior praticidade e menores custos.

É notório que vivencia-se uma era de grandes avanços que beneficiam as pesquisas científicas, uma era em que a informação está cada vez mais instantânea e acessível, quebrando barreiras geográficas que antes impediam a comunicação e a ciência. Esses fatores estão influenciando fortemente a sociedade civil e científica ao ponto de modificarem o próprio paradigma da ciência tradicional.

Muitos são os fatores que estão proporcionando essas mudanças, a evolução das tecnologias digitais, a popularização das plataformas eletrônicas, os avanços relacionados à *internet* (*web* social e a *web* inteligente), estão possibilitando novas formas de intercâmbio de conhecimento que impulsionam a colaboração entre pessoas que objetivam o desenvolvimento de projetos de comum interesse, entre os quais pode-se encontrar diversos projetos de código aberto de *hardwares* e *softwares*, de dispositivos sensíveis a estímulos ambientais, com capacidade de interação com o meio para tomada de decisões e geração de informações em tempo real.

Apesar das várias evidências e casos de sucesso nesse campo, este estudo trouxe para análise um caso recente de projeto de código aberto que objetiva analisar e monitorar recursos hídricos. A escolha deste caso esteve apoiada na percepção empírica de seu alto potencial de utilização tanto pela comunidade científica, quanto por empreendimentos, possibilitando ainda sua utilização por cidadãos que possuam conhecimentos básicos nas áreas relacionadas ao desenvolvimento e operação do sistema avaliado.

O estudo experimental do sistema constatou a possibilidade de sua utilização para a análise e monitoramento de recursos hídricos, sua plataforma *web* demonstrou ser funcional e com bom nível de segurança e armazenamento de dados que podem subsidiar estudos situacionais e políticas públicas de gestão dos recursos hídricos.

O sistema apresentou todos os elementos que o caracterizam como projeto de código aberto, necessitando no entanto, a realização de melhorias em sua documentação de forma a proporcionar maiores esclarecimentos relacionados a sua instalação, montagem e funcionamento.

Em relação ao *hardware* que compõe o sistema, demonstrou ser um equipamento bem elaborado, com bom acabamento, boa capacidade de ampliação de funcionalidades, quantidade razoável de sensores de medições de parâmetros ambientais.

Sua construção demonstrou médio nível de complexidade, pois necessitará a aquisição de componentes eletrônicos de pouca disponibilidade nacional e ferramentas adequadas à montagem de componentes microeletrônicos ou ainda a contratação de empresas especializadas para produção dos *shields*. O custo de produção do MDA demonstrou ser menor que os valores observados de comercialização de medidores multiparamétricos.

O equipamento demonstrou boa exatidão e precisão para medições de pH e temperatura, apresentou necessidade de adequações que possibilitem melhores medições de condutividade elétrica e potencial de oxidação-redução.

Apesar dessas limitações, foi possível concluir que o projeto de código aberto avaliado nesse estudo, apresenta alta viabilidade de utilização tanto para a sociedade, como instrumento com a capacidade de oferecer informações, mesmo que mínimas, das características da água que se utiliza, e ainda como ferramenta inclusiva no mundo do conhecimento científico, quanto para a própria ciência, como recurso que pode auxiliar e viabilizar a realização de pesquisas com menores custos.

Dessa forma, chegou-se à conclusão de que o equipamento no seu estado atual de desenvolvimento, tem boa viabilidade de utilização em aplicações de baixo rigor de precisão. Observou-se também a possibilidade de utilização de sua base construtiva, para desenvolvimento de melhorias e implementação de funções adaptadas às mais diversas aplicações, possibilidade que está diretamente relacionada às vantagens da utilização de projetos de código aberto.

Compreendeu-se nesse estudo que a utilização de sistemas de código aberto podem apresentar extensas contribuições para a análise e monitoramento de recursos hídricos, pois trazem consigo vantagens como, alta frequência, duração prolongada e ampla distribuição espacial dessas avaliações, agregando a possibilidade de geração automatizada de informações em tempo real, sobre os múltiplos parâmetros de aferição da qualidade desses recursos. Possibilitando ainda, fácil manutenção dos sistemas e adaptações com baixo custo devido à extensa disponibilidade de dispositivos tecnológicos compatíveis.

Conclui-se, portanto, que os dados coletados remotamente através de equipamentos desenvolvidos com tecnologias de código aberto são plenamente compatíveis com as avaliações realizadas manualmente em laboratório por tecnologias consolidadas.

Por fim, concluiu-se que os projetos de código aberto, tem uma história repleta de bons resultados, principalmente no que diz respeito ao acesso a métodos de elaboração tecnológica ricos em experiências, e a possibilidade de utilização desse conhecimento aberto, como fonte

que pode aliviar a dependência de tecnologias proprietárias e estimular o interesse pela investigação científica.

Propostas para trabalhos futuros:

Devido questões como limitação de tempo e recursos para este estudo, não foi possível realizar a construção do *hardware* avaliado, ao qual compreende-se como ação necessária em novos estudos, pois permitirão a validação da documentação relativa ao *hardware*, a realização de testes com novos MDA que estejam livres da possibilidade desgastes relacionados a utilizações anteriores, a instalação de equipamentos em campo para a realização de testes com múltiplos pontos e análise do tempo de autonomia entre manutenções.

Foram observadas possibilidades de aprimoramentos no sistema avaliado, ao qual demonstrou possibilidades de implementações de funções predisponíveis mas que estão desativadas por não contarem com alguns componentes físicos no *hardware*. Os *shields* que compõem o equipamento MDA foram projetados e confeccionados com a previsão e disponibilidade para funcionamento com conector de cartão de memória do tipo *SD Card* que possibilitaria o armazenamento das medições no próprio equipamento, habilitando-o para utilização em locais que não dispusessem de rede de telefonia móvel.

Há também a disposição de contatos elétricos no *shield* primário que possibilitam a instalação de sensores de temperatura ambiente, de luminosidade e de umidade do ar, que habilitariam o equipamento para outras aplicações, entretanto, apesar dessa previsão, esses recursos estão indisponíveis nos atuais equipamentos produzidos. Não ficou claro o motivo dessa indisponibilidade, contudo, entende-se que são possibilidades de implementações que poderão agregar maior relevância tecnológica ao equipamento.

De igual importância, torna-se fundamental mencionar que visualizou-se potencial para realização de implementações nos *softwares* do sistema de forma a possibilitar a comunicação com o módulo GSM disponível no equipamento, acrescentando assim a funcionalidade de acesso remoto ao dispositivo, essa função possibilitaria o envio de comandos à distância para ativação ou desativação de funções e verificação do estado atual dos equipamentos de medição instalados.

Quanto a questão autonomia, observou-se que o MDA necessita ser alimentado por uma fonte de energia ligada a rede elétrica, esse fator dificulta sua instalação em reservatórios suspensos, que normalmente não dispõe dessa estrutura, e também inviabiliza sua aplicação para testes em locais que não dispõe desse tipo de alimentação como rios, lagos e áreas não urbanizadas. Dessa forma, avaliou-se como necessária a implementação de outros recursos para alimentação elétrica do *hardware*, de forma a facilitar sua instalação e eliminar a dependência da rede elétrica para seu funcionamento. Neste ponto, sugerimos a realização de estudos para implementação de circuitos que possibilitem a alimentação através de fontes de energia portáteis como pilhas ou baterias que possam ser facilmente substituídas ou ainda recargadas no próprio equipamento através de alimentação por células fotovoltaicas.

A avaliação demonstrou ainda a possibilidade de implementações e ajustes no sistema, visando melhorias quanto a precisão de suas medições e ainda a redução no custo de produção do *hardware*. Questões que avaliou-se como plenamente possíveis de serem tratadas devido à característica aberta do projeto, à disponibilidade de novos dispositivos eletrônicos com maior número de funções embarcadas e ainda à disponibilidade de estudos científicos relacionados a técnicas de análise eletroquímica e ao desenvolvimento de sensores de baixo custo.

7 REFERÊNCIAS

ALI, A. S. et al. Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. **Building and Environment**, v. 100, p. 114–126, maio 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Caderno de recursos hídricos 1. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília, 2005. 172 p.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

AYASS, Myriam. **CERN Open Hardware Licence - Introduction**. Disponível em: <<https://www.ohwr.org/project/cernohl/wikis/home>>. Acesso em: 9 mar. 2019

BAÚ DA ELETRÔNICA. Disponível em: <<http://blog.baudaeletronica.com.br/plataforma-arduino/attachment/05/>>. Acesso em: 25 set. 2018.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Disponível em: <http://www.baudaeletronica.com.br/fonte-bivolt-9v-1a-para-arduino.html?gclid=CjwKCAjwIPTmBRBoEiwAHqpvhSOdBi4xDY4RsdVuvxw6vPNEb48KqMncmDWwslccAFuqJn2_N1CkuBoC9XMQAvD_BwE>. Acesso em: 12 set. 2018.

BITELLA, G. et al. A novel low-cost open-*hardware* platform for monitoring soil water content and multiple soil-air-vegetation parameters. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 10, p. 19639–19659, 2014.

BOULTON, G. et al. **Science as an open enterprise**. [s.l.] Royal Society, 2012. 104 p.

BRASIL. **Constituição (1988)**: Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Supremo Tribunal Federal, 2019. 530 p.

_____. Lei 9.433, 8 jan. 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o Inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Publicado no DOU de 9.1.1997. Brasília, DF, jan. 1997.

_____. Lei 11.445, 5 jan. 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Publicado no DOU de 8.1.2007 e retificado no DOU de 11.1.2007. Brasília, DF, jan. 2007.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnostico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.

_____. Portaria 5 de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os**

serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, 2017, n 190, Secção 1- suplemento, p. 360. Brasília, set. 2017.

_____. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Brasília, dez. 2011.

_____. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília, mar. 2005.

CERN. **CERN Open Hardware Licence v1.2.** Disponível em: <<https://www.ohwr.org/project/cernohl/wikis/home>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

CETESB. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos.** São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2011. 326 p.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016.** São Paulo: CETESB, 2017. 287 p.

CUNHA, A.C. **Monitoramento, parâmetros e modelos da Qualidade da Água.** Macapá: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2000. 83 p.

DEY, N.; MUKHERJEE, A. **Embedded Systems and Robotics with Open source Tools.** [s.l.] CRC Press, 2016. 181 p.

DIBONA, C.; OCKMAN, S.; STONE, M. **OpenSources: Voices from the open source revolution.** [s.l.]: O'Reilly Media, 1999. 284 p.

DOWN, R. D.; LEHR, J. H. **Environmental Instrumentation and Analysis Handbook.** Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 1080 p.

DRYDEN, M. D. M. et al. Upon the Shoulders of Giants: Open-Source *Hardware* and *Software* in Analytical Chemistry. **Analytical Chemistry**, v. 89, n. 2, p. 4330–4338, 2017.

ESTELLÉS-AROLAS, E.; GONZÁLEZ-LADRÓN-DE-GUEVARA, F. Towards an integrated crowdsourcing definition. **Journal of Information Science**, v. 38, n. 2, p. 189–200, 2012.

ESTEVEZ, F. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601 p.

EVANGELISTA, R. O Movimento *Software* Livre Do Brasil: Política, Trabalho E Hacking. **Horizontes Antropológicos**, v. 20, n. 41, p. 173–200, 2014.

FISHER, D. K.; GOULD, P. J. Open-Source *Hardware* Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research. **Modern Instrumentation**, v. 1, n. 2, p. 8–20, 2012.

FISHER, D. K.; KEBEDE, H. A low-cost microcontroller-based system to monitor crop temperature and water status. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 74, n. 1, p. 168–173, 2010.

FLOERKEMEIER, C. et al. **The Internet of Things: First International Conference, IOT 2008 Zurich, Switzerland, March 26-28, 2008 Proceedings**. Germany: Springer, 2008.

FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em E**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

GIBB, A. **Building Open source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers**. [s.l.]: Addison-Wesley, 2014. 368 p.

GITHUB. Disponível em: < <https://github.com/>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

GITHUB INFOAMAZONIA. Disponível em: < <https://github.com/InfoAmazonia>>. Acesso em: 25 ago. 2017

GONZÁLEZ, P.; PÉREZ, N.; KNOCHEN, M. Low cost analyzer for the determination of phosphorus based on open-source *hardware* and pulsed flows. **Química Nova**, v. 39, n. 3, p. 305–309, 2016.

GOOGLE. Disponível em: < <https://www.google.org/our-work/google-impact-challenge/>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

_____. Disponível em: < <https://developers.google.com/chart/>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

GOOGLE TRENDS. Disponível em: <<https://trends.google.com/trends/?geo=US>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

HAGE, D. S.; CARR, J. D. **Química analítica e análise quantitativa**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

HANNA instruments Brasil. Disponível em: <<https://hannainst.com.br/productos/acessorios/hi9829-ph-orp-ec-od-115v/>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

_____. Disponível em: <<https://hannainst.com.br/productos/elektrodos-e-sondas/cleaning-solution-for-general-purpose-500-ml-bottle/>>. Acesso em: 6 set. 2018.

HARRIS, D. **Web 2.0 Evolution into The Intelligent Web 3.0: 100 Most Asked Questions on Transformation, Ubiquitous Connectivity, Network Computing, Open Technologies, Open Identity, Distributed Databases and Intelligent Applications**. Londres: Emereo Pty Ltd, 2008. 148 p.

HEILMANN, C.; FRANCIS, M. N. **Web Development Solutions: Ajax, APIs, Libraries, and Hosted Services Made Easy**. [s.l.]: Apress, 2007.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HORSBURGH, J. S. et al. *Open source software* for visualization and quality control of continuous hydrologic and water quality sensor data. **Environmental Modelling and Software**, v. 70, p. 32–44, 2015.

INFOAMAZONIA. Disponível em: < <https://infoamazonia.org/pt/>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012.

JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (EH) em matrizes ambientais. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1233–1235, 2014.

JENWAY. **Cleaning and Preventative Maintenance Procedures for Jenway pH Electrodes**. Disponível em: <www.jenway.com>. Acesso em: 15 jul. 2018.

LAMBROU, T. P. **A Technical Report for Water Qualitative and Quantitative Sensors including Technical Sensor Drawings and Signal Conditioning Methods**. [s.l.] University of Cyprus, 2011. Disponível em: <<http://www2.ucy.ac.cy/~faniseng/publications/A%20Technical%20Report%20for%20Water%20Qualitative%20and%20Quantitative%20Sensors.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

LIMA JUNIOR, W. T. Sociedade do Conhecimento em função da capacidade do processamento de informações digitais. **Comunicação & Sociedade**, v. 27, n. 45, p. 41–55, 2006.

_____. O surgimento da nova camada complexa da Web e a apropriação doméstica das tecnologias digitais conectadas. **Comunicação & Inovação**, v. 14, n. 27, p. 10–18, 2013.

_____. Intersecções entre Comunicação, Mente Humana e Sistemas Tecnológicos Inteligentes. **Brazilian Journal of Technology, Communication, and Cognitive Science**, v. 4, p. 1-4, 2016.

LOWRY, C. S.; FIENEN, M. N. CrowdHydrology: Crowdsourcing hydrologic data and engaging citizen scientists. **GroundWater**, v. 51, n. 1, p. 151–156, 2013.

MACHADO, P. J. DE O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011. 456 p.

MOHAMED, H. M. Screen-printed disposable electrodes: Pharmaceutical applications and recent developments. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, v. 82, p. 1–11, 2016.

NAIK, K. M.; NANDIBEWOOR, S. T. Electroanalytical method for the determination of methylparaben. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 212, p. 127–132, jun. 2014.

NG, I. C. L.; WAKENSHAW, S. Y. L. The Internet-of-Things: Review and research directions.

International Journal of Research in Marketing, v. 34, n. 1, p. 3–21, 2017.

ONU. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável** Preâmbulo Centro de Informação das Nações Unidas Rio de Janeiro. [s.l.: s.n.]. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 16 maio. 2018.

OPENSTREETMAP. Disponível em: <<http://www.openstreetmap.com.br/>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

OSHWA. **Melhores Práticas para o Hardware de Código Aberto 1.0**. Disponível em: <<https://www.oshwa.org/sharing-best-practices/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

PEREZ-RIVEROL, Y. et al. Ten Simple Rules for Taking Advantage of Git and GitHub. **PLoS Computational Biology**, v. 12, n. 7, p. 1–11, 2016.

PERKEL, J. Democratic databases: science on GitHub. **Nature**, v. 538, n. 7623, p. 127–128, 2016.

PINTO, M. C. F. **Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, 2007. 51 p.

PORTAL ADESÕES. Disponível em: <<https://www.portaladesoes.com.br/detalhes-produto/2070/Medidor-Multiparâmetro-Hanna-HI-HI9829-01042--Acessórios>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

PORTUGAL. Fundação para a Ciência e a Tecnologia. **Sobre Ciência Aberta**. Disponível em: <<https://www.ciencia-aberta.pt/sobre-ciencia-aberta>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

PRESS, Jordan; PRESS, Noah. **EZO-pH: Embedded pH Circuit**. 2018. Atlas Scientific LLC. Disponível em: <https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/pH_EZO_Datasheet.pdf>. Acesso em: 24 out. 2018.

PUBLIC LAB. **Rede InfoAmazonia: Mãe D'água**. Disponível em: <<http://www.publiclab.org/wiki/mae-d-agua-rede-infoamazonia>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

REDE INFOAMAZONIA. Disponível em: <<http://rede.infoamazonia.org/>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

RIBEIRO, S. L. Considerações iniciais sobre a segurança hídrica do Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, v. 4, n. 1, p. 155–180, 17 jan. 2017.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água. Tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Blucher, 1991. 332 p.

SUSLOW, T. V. Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Water Disinfection Monitoring, Control, and Documentation. **ANR publication**, v. 8149, p. 1–5, 2004.

SMARTCITIZEN. Disponível em: <<https://smartcitizen.me/>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. I, 2005. 452 p.

TIOBE. **Índice da Comunidade de Programação**. Disponível em: <<https://www.tiobe.com/tiobe-index/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

UN WATER. Soluções baseadas na Natureza para a gestão da água. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**, 2018.12 p.

VAZQUEZ, J. I.; IPINA, D. L. Social Devices: Autonomous Artifacts That Communicate on the Internet. In: FLOERKEMEIER, C. et al. **The Internet of Things: First International Conference, IOT 2008 Zurich, Switzerland, March 26-28, 2008 Proceedings**. Germany: Springer, 2008. p. 308-324.

VICENTE-SAEZ, R.; MARTINEZ-FUENTES, C. Open Science now: A systematic literature review for an integrated definition. **Journal of Business Research**, v. 88, p. 428–436, 1 jul. 2018.

WITTBRODT, B. T. et al. Open-source photometric system for enzymatic Nitrate quantification. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. 1–17, 2015.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2008. v. 1. 564 p.

WHO. **World Health Statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva: World Health Organization, 2018.

WHO; UNICEF. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines**. Geneva, Switzerland: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf>>. Acesso em: 24 abril. 2019.

GLOSSÁRIO

Biblioteca de funções: conjunto de funções, subprogramas, escritos por outros programadores e utilizados no desenvolvimento de *softwares*.

Movimento DIY: Atividades do tipo faça você mesmo. Refere-se às ações e projetos realizados pela própria pessoa, sem auxílio de profissionais da área.

Movimento *Maker*: Cultura de construção e desenvolvimento de projetos por pessoas, evitando a aquisição de produto em formato comercial.

***Package*:** Código referente ao formato físico do componente eletrônico – encapsulamento.