

Universidade Brasil  
Campus de Fernandópolis

JOSÉ APARECIDO JORGE JUNIOR

DESENVOLVIMENTO DE SONDA MULTIPARÂMETRO DINÂMICA DE  
QUALIDADE DE ÁGUA (SONDA AQUA-X)  
DYNAMIC MULTI-PARAMETER PROBE DEVELOPMENT  
(AQUA-X PROBE)

Fernandópolis – SP  
2019

José Aparecido Jorge Junior

DESENVOLVIMENTO DE SONDA MULTIPARÂMETRO DINÂMICA DE  
QUALIDADE DE ÁGUA (SONDA AQUA-X)

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis – SP

2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

J71d Jorge Junior, José Aparecido.  
Desenvolvimento de Sonda Multiparâmetro Dinâmica de  
Qualidade de Água (Sonda Aqua-X) /José Aparecido Jorge  
Junior.  
São Paulo – SP: [s.n.], 2019.  
59 p.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, co-  
mo complementação dos créditos necessários para obtenção  
do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof. Dr. Luiz Sérgio Vanzela.

1.Hidrometria. 2.Gestão de Recursos Hídricos. 3.Qualidade  
da Água. 4.Sensores. I. Título.

CDD 532.57

## Termo de Autorização

### Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: “DESENVOLVIMENTO DE SONDA MULTIPARÂMETRO DINÂMICA DE QUALIDADE DE ÁGUA (SONDA AQUA-X)”

Autor(es):

Discente: José Aparecido Jorge Junior

Assinatura:  \_\_\_\_\_

Orientador: Luiz Sergio Vanzela

Assinatura:  \_\_\_\_\_

Data: 17/dezembro/2019

TERMO DE APROVAÇÃO

JOSÉ APARECIDO JORGE JUNIOR


“DESENVOLVIMENTO DE SONDA MULTIPARÂMETRO DINÂMICA DE  
QUALIDADE DE ÁGUA (SONDA AQUA-X)”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



---

Prof(a). Dr(a) Luiz Sergio Vanzela (Presidente)



---

Prof(a). Dr(a) Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro (Universidade Brasil)



---

Prof(a). Dr(a) Marcelo Luis Murari (IFSP)

Fernandópolis, 17 de dezembro de 2019.

# DESENVOLVIMENTO DE SONDA MULTIPARÂMETRO DINÂMICA DE QUALIDADE DE ÁGUA (SONDA AQUA-X)

## RESUMO

O monitoramento da qualidade da água diretamente nos cursos d'água por meio de sensores instalados em sondas é cada vez mais usual em comparação com os métodos convencionais em laboratório. Considerando, portanto, a importância da inovação tecnológica para o monitoramento da qualidade de água, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma sonda multiparâmetro dinâmica denominada AQUA-X, para o monitoramento do perfil longitudinal de qualidade de água em cursos d'água. A sonda foi desenvolvida na Universidade Brasil - Campus de Fernandópolis e é composta de sensores (temperatura, pH e turbidez), módulo GPS (Sistema de Posicionamento Global) e cartão de memória, integrados a plataforma Arduino. A plataforma da sonda onde foi embarcado os sensores e a base para o circuito eletrônico e módulo GPS foram construídas com o auxílio de uma impressora 3D e o material utilizado para a impressão foi o filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). Para dar maior estabilidade e flutuação da sonda foi colocado uma espuma flutuante ao redor da plataforma da sonda. Em três testes realizados a sonda Aqua-X coletou e armazenou múltiplos dados de qualidade da água (temperatura, pH e turbidez), a localização geográfica (coordenadas geodésicas) e o tempo (data e horário), permitindo avaliar o perfil longitudinal da qualidade de água em função da distância. Os resultados obtidos da calibração dos sensores, posicionamento geodésico e armazenamento de dados, integrados ao circuito eletrônico desenvolvido para a sonda, demonstram a ótima confiabilidade na obtenção das variáveis de qualidade de água. Sugere-se em futuras versões, para a melhoria posicional, o uso de módulo GPS com a utilização de receptores L1 em posicionamento relativo. Conclui-se que foi possível desenvolver uma sonda multiparâmetro dinâmica (denominada Aqua-X) funcional para o monitoramento da qualidade de água em cursos d'água, com componentes de baixo custo.

**Palavras-chave:** Hidrometria, Gestão de recursos hídricos, Qualidade da água, Sensores.

# **DYNAMIC MULTI-PARAMETER PROBE DEVELOPMENT (AQUA-X PROBE)**

## **ABSTRACT**

The monitoring of water quality directly in watercourses by means of sensors installed in probes is increasingly common in comparison with conventional methods in the laboratory. Therefore, considering the importance of technological innovation for monitoring water quality, the objective of this work was to develop a dynamic multi-parameter probe called AQUA-X, for monitoring the longitudinal profile of water quality in water courses. The probe was developed at the Brazil University - Campus Fernandópolis and is composed of sensors (temperature, pH and turbidity), GPS module (Global Positioning System) and memory card, integrated to the Arduino platform. The probe platform where the sensors were shipped and the base for the electronic circuit and GPS module were built with the aid of a 3D printer and the material used for printing was the ABS filament (Acrylonitrile Butadiene Styrene). To provide greater stability and buoyancy of the probe, a floating foam was placed around the rig platform. In three tests carried out, the Aqua-X probe collected and stored multiple data of water quality (temperature, pH and turbidity), geographic location (geodetic coordinates) and time (date and time), allowing to evaluate the longitudinal profile of water quality. water as a function of distance. The results obtained from the calibration of the sensors, geodetic positioning and data storage, integrated with the electronic circuit developed for the probe, demonstrate the excellent reliability in obtaining the water quality variables. It is suggested in future versions, for positional improvement, the use of GPS module with the use of L1 receivers in relative positioning. It is concluded that it was possible to develop a dynamic multiparameter probe (called Aqua-X) for the monitoring of water quality in water courses, with low cost components.

**Keywords:** Hydrometry, Water resource management, Water Quality, Sensors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regiões hidrográficas brasileiras (alterado de CNRH, 2010).....	16
Figura 2 – Sonda multiparâmetros Hydrolab – modelo DS5. ....	19
Figura 3 - Princípio de funcionamento projetado para a sonda Aqua-X, em que “x” é a longitude, “y” a latitude, “d” a data, “t” o tempo, “z” o valor da variável de qualidade de água e “p” a distância acumulada. ....	28
Figura 4 - Circuito elétrico e sensores que compõe o sistema de monitoramento da Sonda Aqua-X. ....	29
Figura 5 – Microcontrolador Arduino Nano.....	30
Figura 6 – Sensor de Turbidez da água e módulo eletrônico (a) vista frontal do sensor(b).....	31
Figura 07 - Módulo Sensor pH. ....	32
Figura 8 - Sensor de Temperatura DS18B20.....	32
Figura 9 - Módulo GPS Neo – 6M. ....	33
Figura 10 – Módulo cartão micro SD.....	34
Figura 11 – Projeto da plataforma (a), onde são embarcados os componentes da sonda Aqua-X (medidas em centímetros). ....	34
Figura 12 – Interface do IDE do Arduino. ....	35
Figura 13 – Medição das amostras com o peagâmetro e sensor pH. ....	36
Figura 14 – Curva de calibração de tensão em pH, onde $r^2$ é o coeficiente de determinação.....	37
Figura 15 – Medição das amostras com o turbidímetro e sensor de turbidez. ....	37
Figura 16 – Curva de calibração de tensão em turbidez, onde $r^2$ é o coeficiente de determinação.....	38
Figura 17 – Curva de calibração de temperatura do sensor em temperatura do termômetro digital, onde $r^2$ é o coeficiente de determinação.....	38
Figura 18 – Trajeto registrado no teste do módulo GPS, da sonda Aqua-X.....	40
Figura 19 – Elaboração do circuito elétrico da sonda.....	40
Figura 20 – Identificação dos locais de instalação dos sensores e módulos na placa de circuito eletrônico.....	41
Figura 21 – Sensores e módulos conectados a placa.....	41
Figura 22 – Vistas Inferior e superior da plataforma da sonda Aqua-X. ....	42



Figura 23 – Vista lateral plataforma da sonda, com os sensores alocados.....	42
Figura 24 – Base para o circuito eletrônico, GPS e bateria.....	43
Figura 25 – Vista superior e lateral da sonda Aqua-X, em sua primeira versão.....	43
Figura 26 – Identificação da pinagem dos sensores na placa.....	44
Figura 27 – Localização do LED no módulo GPS. ....	45
Figura 28 - Localização do trecho do Afluente do Córrego da Onça, Município de Itapura - SP, onde foi realizada a demonstração. ....	45
Figura 29 – Visão geral do trecho do córrego onde foi realizada a demonstração da sonda Aqua-X.....	46
Figura 30 – Sonda Aqua-X percorrendo o trecho do córrego em estudo. ....	48
Figura 31 – Posicionamento dos pontos amostrados em relação ao trecho do córrego, por imagem de satélite. ....	49
Figura 32 – Arquivos gerados nos testes (a) e arquivo CSV do primeiro teste executado diretamente no Software Microsoft Excel.....	50
Figura 33 – Perfil longitudinal da temperatura da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.....	51
Figura 34 – Perfil longitudinal do pH da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.....	52
Figura 35 – Perfil longitudinal da turbidez da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.....	53
Figura 36 – Perfil longitudinal da velocidade superficial do escoamento ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados. ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de monitoramento, vantagens e desvantagens.....	19
Tabela 2 – Características de utilização da sonda multiparâmetros Hydrolab MS5..	20
Tabela 3 – Classes das águas doces e suas finalidades segundo Resolução CONAMA N° 357/2005. ....	26
Tabela 4 - Condições dos parâmetros das águas doces.....	27
Tabela 5 - Registro teste da localização, data e horário do módulo GPS e armazenados no micro SD.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

ANA – Agencia Nacional de Águas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

°C – graus celsius

GPS - Sistema de Posicionamento Global

H<sub>2</sub>S - Ácido Sulfídrico

mA - miliAmpères

mg L<sup>-1</sup> – miligramas por litro

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez

OD - Oxigênio dissolvido

pH - Potencial hidrogeniônico

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

STD - Sólidos Totais Dissolvidos

UGRH's - Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

V - Volts

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivo geral .....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISAO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1. Qualidade de água em bacias hidrográficas .....	16
3.2. Monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas .....	17
3.2.1. Sondas multiparâmetros de qualidade de água .....	19
3.3. Parâmetros de Qualidade das águas .....	21
3.3.1. Temperatura da água .....	21
3.3.2. Oxigênio Dissolvido .....	21
3.3.3. Potencial hidrogeniônico (pH) .....	22
3.3.4. Condutividade Elétrica.....	23
3.3.5. Turbidez .....	23
3.3.6. Sólidos Totais Dissolvidos.....	23
3.4. Legislação Ambiental de Recursos Hídricos .....	25
4. DESENVOLVIMENTO DA SONDA AQUA-X .....	28
4.1. Local e data de desenvolvimento .....	28
4.2. Princípio e funcionamento .....	28
4.3. Projeto básico.....	29
4.3.1. Microcontrolador Arduino .....	30
4.3.2. Sensores .....	31
a. Sensor de Turbidez .....	31
b. Sensor de pH .....	31
c. Sensor de Temperatura.....	32
4.3.3. Módulo GPS Neo – 6M.....	33
4.3.4. Módulo Cartão Micro SD .....	33
4.3.5. Plataforma .....	34
4.4. Softwares .....	34
5. PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA SONDA AQUA-X.....	36
5.1. Preparação.....	36
5.2. Calibrações dos sensores .....	36
5.3. Teste do módulo GPS e micro SD.....	39

5.4. Montagem .....	40
5.4.1. Circuito Elétrico .....	40
5.4.2. Construção da plataforma .....	42
7. RESULTADOS .....	48
7.1. Desempenho da plataforma .....	48
7.2. Desempenho do posicionamento .....	48
7.3. Dados de qualidade de água.....	50
7.3.1. Arquivos de dados gerados.....	50
7.3.2. Perfis de qualidade de água.....	51
8. CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável à existência de vida na Terra, sendo utilizada pelo Homem para satisfazer suas necessidades metabólicas. A poluição da água altera suas propriedades físico-químicas e biológicas, tornando-a imprópria para o consumo (FERREIRA *et al.*, 2010).

O controle de qualidade dos recursos hídricos torna-se relevante, uma vez que está diretamente correlacionado com a saúde e o bem-estar da população, com a conservação do meio ambiente e com diversas atividades econômicas, tais como piscicultura, agricultura e agropecuária. Dessa forma, parâmetros físicos (cor, turbidez, temperatura e condutividade), químicos (pH, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrito, fósforo total etc.) e bacteriológicos (coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*) devem ser periodicamente avaliados. Segundo a Resolução Conama 357/2005, a Temperatura da água e o Potencial Hidrogeniônico (pH), são parâmetros que influenciam no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies. Segundo Maier (1987) uma pequena diminuição no pH pode estar relacionada ao acréscimo no teor de matéria orgânica que leva à conseqüente queda na quantidade de oxigênio dissolvido disponível no corpo d'água.

De acordo com Novo (2007), o monitoramento é a observação repetitiva de uma área ou fenômeno, com uma frequência definida pela variabilidade do fenômeno e pela necessidade de informação sobre a dinâmica do seu comportamento.

O monitoramento da qualidade da água é importante para avaliar o manancial e o comportamento dinâmico de um ambiente aquático. Na realização do monitoramento, trabalhos de campo são fundamentais para coletar e analisar amostras de água visando à identificação dos agentes poluidores. Contudo, estes trabalhos são dispendiosos e com elevado custo financeiro. É neste contexto que o monitoramento automático, por meio de sensores, pode ser utilizado na medição de parâmetros ambientais o que facilita o processo de aquisição de dados e disponibilização destes para a construção de um banco de dados, o qual poderá ser importante para os órgãos gestores (HASAN, 2005).

As sondas multiparâmetros são instrumentos capazes de mensurar variáveis de qualidade como água como pH (potencial hidrogeniônico), OD (oxigênio

dissolvido), temperatura, condutividade elétrica, turbidez, compostos nitrogenados, matéria orgânica e clorofila, de forma rápida, e assim realizar o monitoramento de longo período, objetivando identificar alterações cíclicas (diurnas/noturnas ou sazonais) de parâmetros de qualidade, associadas a processos que ocorrem no próprio corpo d'água.

A utilização das sondas pode ocorrer de forma estática (fixas em determinado local) ou de forma dinâmica (se deslocando vertical ou horizontalmente na coluna do curso d'água). Têm grande capacidade de armazenamento de dados e associadas a outros equipamentos possibilitam o envio dos resultados via sistema de telemetria, realizando um monitoramento em tempo real e de modo contínuo (HERMES *et al.*, 2004).

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Desenvolver a sonda multiparâmetro dinâmica de qualidade de água denominada AQUA-X, para o monitoramento do perfil de qualidade de água em cursos d'água.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Desenvolver coletor de dados a partir da tecnologia Arduino, capaz de registrar e armazenar localização geográfica, data, hora e valor de variáveis de qualidade de água;
- Projetar uma plataforma para permitir o deslocamento sobre a água e abrigar os sistemas eletrônicos;

## 2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Qualidade de água em bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural de água precipitada que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída. Pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada de água é produto da precipitação e a saída é o volume de água escoada superficialmente, levando-se em consideração as diversas perdas intermediárias como evaporação, transpiração e as perdas por percolação profunda (TUCCI, 2007).

A Resolução nº 109, de 13 de abril de 2010 (BRASIL, 2010), criou as Unidades de Gestão de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas de rios de domínio da União (UGRH's) e estabeleceu procedimentos complementares para a criação e acompanhamento dos comitês de bacia (Figura 1).

Código	Região Hidrográfica
A	Amazônica
B	Tocantins-Araguaia
C	Atlântico Nordeste Ocidental
D	Paranaíba
E	Atlântico Nordeste Oriental
F	São Francisco
G	Atlântico Leste
H	Atlântico Sudeste
I	Atlântico Sul
J	Uruguai
L	Paraná
M	Paraguai



**Figura 1** - Regiões hidrográficas brasileiras (alterado de CNRH, 2010).

As bacias hidrográficas podem ser avaliadas sob vários aspectos, sendo que a qualidade de água é uma das mais comuns, pois possuem uma relação com o uso da



bacia e da própria água, sendo indicador da qualidade da bacia e da qualidade de água para diferentes fins. De acordo com Margalef (1994), os vários processos que controlam a qualidade de água de um rio, fazem parte de um complexo equilíbrio, motivo pelo qual qualquer alteração na bacia hidrográfica pode acarretar alterações significativas, sendo as características físicas e químicas da água de um rio indicadores da “saúde” do ecossistema terrestre, que podem ser utilizadas para o controle e o monitoramento das atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica.

A qualidade da água, segundo Valente e Gomes (2005), é o resultado de um conjunto de parâmetros físicos, químicos e biológicos que descrevem sua natureza. Dependendo da qualidade, a água poderá ser usada diretamente ou necessitar de tratamento. Cutolo (2009) ressalta que a poluição da água ocasiona vários impactos negativos ao meio ambiente, levando em consideração não só os prejuízos para a saúde pública, mas também o mau uso da água, que além de interferir negativamente sobre a fauna e flora aquáticas, provoca o assoreamento e a eutrofização, induzindo aspectos estéticos desagradáveis e prejudicando economicamente o ambiente.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente, estabeleceu na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 a classificação dos corpos de água e o seu enquadramento nas condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

## **2.2. Monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas**

O monitoramento da qualidade das águas é um importante instrumento da gestão ambiental, que consiste, basicamente, no acompanhamento sistemático do aspecto qualitativo da água (MARTINS, 2009).

De acordo com Von Sperling (1996), os objetivos principais dos programas de monitoramento são: conhecer o corpo de água, identificar eventuais problemas, avaliar os efeitos de medidas de recuperação, verificar a conformidade da qualidade com o uso previsto, comparar o estado atual com os padrões e recomendações vigentes e também buscar a compreensão das diversas relações de causa e efeito, muitas vezes não percebidas mediante uma simples avaliação ou comparação de resultados. Informa, ainda, que os componentes básicos de um programa de

monitoramento envolvem a definição dos pontos de coleta, dos parâmetros a serem analisados e da frequência de amostragem.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2019), o país apresenta uma rede hidrometeorológica com aproximadamente 11.000 estações hidrométricas, administradas por organismos federais, setoriais, estaduais e particulares, dentre as quais 4.200 representam a rede básica nacional em operação (Redes Hidrometeorológicas), de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), com o objetivo de avaliar a disponibilidade hídrica e conhecer o regime hidrológico das oito bacias hidrográficas brasileiras e sub-bacias constituintes. Ainda de acordo com a mesma agência, a Rede Hidrometeorológica Nacional possui 1.286 estações de monitoramento da qualidade da água, com um período trimestral de amostragem de cinco parâmetros: pH, turbidez, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido. De acordo com o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA até fevereiro de 2014, das 27 Unidades da Federação, 18 possuíam redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais (ANA, 2014).

Segundo Hanisch e Freire-Nordi (2015), o monitoramento pode ser tradicional, que compreende o modo de coleta em campo com barco, com posterior análise de amostras em laboratório, ou em tempo real, com sondas fixas em campo. A Tabela 01 apresenta uma comparação resumida das vantagens e desvantagens dessas duas formas de monitoramento.

Uma das tendências mais atuais de monitoramento avançado de ecossistemas aquáticos é o monitoramento em tempo real. Esse tipo de monitoramento envolve as seguintes tecnologias (TUNSIDI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008):

- Uso de sensores de alta qualidade para medidas físicas, químicas e biológicas na água;
- Armazenamento de dados;
- Transmissão de dados por meios eletrônicos via satélite ou por internet;
- Acoplamento de sensores de qualidade de água com medições climatológicas.

**Tabela 1** - Tipos de monitoramento de qualidade da água, vantagens e desvantagens.

Tipo de Monitoramento	Vantagens	Desvantagens
Monitoramento Tradicional	Menor desgaste dos equipamentos, por não permanecerem em ambientes agressivos; Procedimentos e técnicas consolidados.	Monitoramento dificultado em períodos noturnos; Menor quantidade de dados coletados; Maior tempo despendido para obtenção do dado e posterior análise.
Monitoramento em Tempo Real	Obtenção de dados contínuos em intervalos reduzidos de tempo; Detecção de alterações bruscas em tempo real, possibilitando a manutenção da qualidade da água; Possibilidade de alarmes; Possibilidade de maior entendimento dos processos ambientais.	Ambiente agressivo reduz o tempo de vida dos equipamentos; Calibração e manutenção dificultadas; Necessidade de análise paralela da consistência dos dados gerados.

Fonte: Hanisch e Freire-Nordi (2015).

### 2.2.1. Sondas multiparâmetros de qualidade de água

As sondas multiparâmetros são equipamentos capazes de detectar, de forma rápida, a concentração de alguns compostos físico-químicos em uma amostra de água. As sondas normalmente compreendem um dispositivo em forma cilíndrica que são imersos na água para medição de mais de um parâmetro de qualidade de água (Figura 2).



**Figura 2** – Sonda multiparâmetros Hydrolab – modelo DS5.

Fonte: [www.ott.com/en-uk/products/water-quality-2](http://www.ott.com/en-uk/products/water-quality-2) (2019).

O monitoramento automático, por vários sensores, facilita o processo de aquisição de dados e disponibilização destes para a construção de um banco de

dados, o qual é de suma importância para os órgãos gestores de recursos hídricos (HASAN, 2005).

As sondas multiparâmetros são instrumentos aplicados em situações específicas, como o monitoramento de longo período, objetivando identificar alterações cíclicas (diurnas/noturnas ou sazonais) de parâmetros de qualidade, associadas a processos que ocorrem no próprio corpo d'água. Diversos sensores podem ser acoplados às sondas de medição de qualidade da água, as quais podem efetuar determinação de diferentes parâmetros de forma simultânea. Elas são de grande utilidade em trabalhos de inventário e monitoramento da qualidade das águas em extensas áreas geográficas, especialmente em bacias hidrográficas.

A utilização das sondas pode ocorrer de forma estática (fixas em determinado local) ou de forma dinâmica (acompanhando quem está monitorando). Têm grande capacidade de armazenamento de dados e associadas a outros equipamentos possibilitam o envio dos resultados via sistema de telemetria, realizando um monitoramento em tempo real e de modo contínuo (HERMES et al., 2004).

As sondas multiparâmetros atuais podem ser capazes de mensurar as seguintes variáveis como: oxigênio dissolvido, condutividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos, temperatura, pH, potencial de óxido-redução, turbidez, vazão, nitrato, amônia, cloreto e clorofila.

Dependendo da marca e modelo, os sensores disponíveis nas sondas multiparâmetro são caracterizados pela faixa de operação, precisão e resolução na mensuração do parâmetro de qualidade de água (Tabela 2).

**Tabela 2** – Características de utilização da sonda multiparâmetros Hydrolab MS5.

Parâmetro	Faixa	Precisão	Resolução
Condutividade	0 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$	$\pm 0,5\%$	0,01 $\mu\text{S cm}^{-1}$
pH	0 a 14 unid. de pH	$\pm 0,2$ unidades	0,01 unidades
N-NH <sub>4</sub>	0 a 100 mg N L <sup>-1</sup>	$\pm 2$ mg N L <sup>-1</sup>	0,01 mg N L <sup>-1</sup>
N-NO <sub>3</sub>	0 a 100 mg L <sup>-1</sup>	$\pm 2$ mg L <sup>-1</sup>	0,01 mg L <sup>-1</sup>
Turbidez	0 a 3000 NTU	$\pm 1\%$ acima de 100 NTU	0,1 NTU de 0 a 400 NTU
		$\pm 3\%$ de 100 a 400 NTU	1 NTU acima de 400 NTU
		$\pm 5\%$ de 400 a 3000 NTU	
OD	0 a 60 mg L <sup>-1</sup>	$\pm 0,1$ leitura $\leq 8$ mg L <sup>-1</sup>	0,01 mg L <sup>-1</sup>
		$\pm 0,2$ leitura $> 20$ mg L <sup>-1</sup>	

**Fonte:** Catálogo do fabricante (2019).

## **2.3. Parâmetros de Qualidade das águas**

De acordo com Gastaldini e Mendonça (2001), os parâmetros de qualidade da água mais comumente utilizados para a caracterização de corpos hídricos são temperatura, cor, odor, sólidos totais, turbidez, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, dureza, clorofila, nitrogênio, fósforo, algas, demanda bioquímica de oxigênio (DQO) e demanda química de oxigênio (DBO).

### **2.3.1. Temperatura da água**

A temperatura desempenha um papel fundamental de controle no meio aquático, controlando a distribuição e a atividade de animais e plantas, agindo como um fator limitante à reprodução, ao crescimento e a distribuição de organismos e condicionando as influências de uma série de parâmetros físicos e químicos (ESTEVES, 1998).

As variações de temperatura dos cursos d'água são sazonais e acompanham as flutuações do clima durante o ano. Segundo Branco (1986), no âmbito da faixa de temperatura usual em nossas águas superficiais (4 a 30°C), um aumento da temperatura da água, em geral, tem como efeito:

- Diminuição da densidade e da viscosidade da água, para temperaturas acima de 4°C, facilitando a sedimentação de materiais em suspensão.
- Redução da solubilidade dos gases na água, entre eles o oxigênio, o CO<sub>2</sub> e a amônia.
- Evasão de substâncias orgânicas voláteis podendo causar maus odores.
- Aumento da velocidade das reações bioquímicas, aeróbias e anaeróbias, de degradação da matéria orgânica.
- Aumento da taxa de crescimento dos organismos aquáticos.
- Evasão de gases tóxicos H<sub>2</sub>S.
- Coagulação de proteínas que constituem a matéria viva.
- Aumento da toxicidade de substâncias dissolvidas na água, como rotenona.

### **2.3.2. Oxigênio Dissolvido**

O oxigênio dissolvido (OD) na água, cuja concentração nos ambientes aquáticos é normalmente expressa em mg L<sup>-1</sup> são oriundas basicamente de três fontes: da

fotossíntese, da aeração e da dissolução atmosférica na água. Este parâmetro depende da temperatura e da pressão parcial da água. O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial, onde sua concentração corresponde à função das variáveis físicas, químicas e bioquímicas que ocorrem nas águas (SILVA, et al., 2007).

O OD é essencial para os organismos aeróbicos. Durante a estabilização da matéria orgânica as bactérias fazem o uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução na concentração do oxigênio dissolvido. O OD é o principal parâmetro de caracterização da poluição da água por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) (VON SPERLING, 1996).

A variação da concentração de OD ocorre sazonalmente, ou mesmo em períodos de 24 horas, em razão da temperatura e atividade biológica. Concentrações abaixo de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  podem impactar adversamente o funcionamento e a sobrevivência de comunidades biológicas e abaixo de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  pode levar a morte excessiva de peixes (FERREIRA; PÁDUA, 2010).

### **2.3.3. Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH é um dos indicativos mais importantes de monitoramento de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos. A acidez exagerada pode ser um indicativo de contaminações, enquanto o excesso de solubilização de sais também pode tornar a água imprópria para consumo devido à elevada dureza (BAIRD, 2011).

O valor do pH é um número aproximado entre 0 e 14 que indica se uma solução é ácida ( $\text{pH} < 7,0$ ), neutra ( $\text{pH} = 7,0$ ), ou básica/alcalina ( $\text{pH} > 7,0$ ) a  $25^\circ \text{C}$ , interferindo no metabolismo de várias espécies aquáticas. A Resolução CONAMA n. 357/2005 estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2005).

As principais fontes na mudança do pH correspondem aos efluentes domésticos e industriais, a oxidação de matéria orgânica e ainda poluentes atmosféricos, como a chuva ácida. A acidez da água tem relação com a corrosão de metais, efeitos sobre a flora e a fauna, prejuízos à utilização na agricultura e em outros usos, aumento da toxidez de certos compostos como amônia, metais pesados e gás sulfídrico, e, ainda, influência os processos de tratamento de água (MOTA, 2003).

#### **2.3.4. Condutividade Elétrica**

De acordo com Macedo (2002), a condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, ou seja, favorecendo a água transmitir a corrente elétrica. A condutividade elétrica depende da quantidade de sais dissolvidos presentes na água, podendo ser expresso em  $\text{mho cm}^{-1}$ , ou o  $\mu\text{mho cm}^{-1}$ , ou o  $\text{S cm}^{-1}$  ou o  $\mu\text{S cm}^{-1}$ .

Segundo a CETESB (2017), a condutividade elétrica é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica, dependendo das concentrações iônicas e da temperatura, e indica a quantidade de sais existentes no corpo d'água e, portanto, pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a  $100 \mu\text{S/cm}$  indicam ambientes impactados.

#### **2.3.5. Turbidez**

De acordo com Costa Filho (2006), a turbidez corresponde à interferência da passagem da luz através da água, pelos sólidos em suspensão, que provocam a sua difusão e absorção, dando-a uma aparência turva. Ocorre principalmente por sólidos constituídos de algas, protozoários, bactérias, areia, argila, silte em suspensão, resíduos industriais e domésticos, entre outros. A turbidez é tipicamente medida em NTUs (unidades nefelométricas de turbidez).

Segundo a CETESB (2017), a erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas, além dos esgotos domésticos e diversos efluentes industriais que também provocam elevações na turbidez das águas. A alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas podendo assim suprimir a produtividade de peixes. Portanto, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas.

#### **2.3.6. Sólidos Totais Dissolvidos**

Segundo Macedo (2002), os Sólidos totais dissolvidos (STD) correspondem a todas aquelas impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos, que

contribuem para a carga de sólidos presentes no meio aquático. Entre eles, os componentes primários que são os sais de cálcio, magnésio, sódio, cloro, bicarbonato e enxofre. As principais fontes dos STD vêm da erosão do solo, dos efluentes domésticos e industriais, dos resíduos sólidos e da mineração (MOTA, 2003).

De acordo com a norma técnica interna SABESP (1999) há várias classificações para os sólidos:

- Sólidos Totais: Todas as substâncias que permaneçam na cápsula após a total secagem de um determinado volume de amostra;
- Sólidos Fixos: Todas as substâncias que permaneçam na cápsula após calcinação em forno-mufla na determinação dos sólidos totais;
- Sólidos Voláteis: Resultado da subtração entre os sólidos totais e os sólidos fixos. Todas substâncias que se volatilizaram após a calcinação no forno mufla.
- Sólidos em Suspensão: Todas as substâncias que após filtração e secagem, permaneçam retidas na membrana (fibra de vidro com porosidade 1,2  $\mu\text{m}$ );
- Sólidos em Suspensão Fixos: Todas as substâncias que permaneçam retidas na membrana (fibra de vidro com porosidade 1,2  $\mu\text{m}$ ) após filtração e secagem e calcinação em forno-mufla;
- Sólidos em Suspensão Voláteis: Resultado da subtração entre os sólidos em suspensão totais e os sólidos em suspensão fixos. Todas substâncias que se volatilizaram após a calcinação no forno-mufla.
- Sólidos Dissolvidos: Todas as substâncias que não ficaram retidas na filtração e permaneceram após total secagem de determinado volume de amostra;
- Sólidos Sedimentáveis: Todas as substâncias existentes em 1 (um) litro de amostra que sedimentem pôr ação da gravidade, em Cone.

De acordo com Ferreira e Pádua (2010) o excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações no sabor e alguns problemas de corrosão, pois substâncias presentes nos corpos hídricos, em forma de sólidos dissolvidos, podem conter íons orgânicos e íons inorgânicos (como carbonetos, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato, cálcio, magnésio e sódio) que em concentrações elevadas são prejudiciais à saúde.



## 2.4. Legislação Ambiental de Recursos Hídricos

A Lei Federal Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, Lei das Águas, trouxe mudanças na gestão dos Recursos Hídricos no Brasil (BRASIL, 1997), sendo uma delas, a instituição da Política Nacional dos Recursos Hídricos e ainda criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- Os Planos de Recursos Hídricos;
- O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- A compensação a município;
- O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Na Lei das Águas não há especificação clara relativa aos monitoramentos e aos parâmetros que deveriam ser realizados. Mesmo não tendo sido incluído diretamente como um dos instrumentos, o monitoramento está implícito como processo essencial à implementação dos instrumentos definidos, bem como para a própria existência do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (MAGALHÃES JR., 2000).

A Resolução CONAMA nº 357, 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 (CONAMA, 2005). Esta resolução define enquadramento como: estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo, conforme segue:

Classe de qualidade: conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais ou futuros;

Classificação: qualificação das águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) atuais e futuros;

Condição de qualidade: qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade;

Monitoramento: medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água;

As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Especificamente para a água doce, estas são classificadas em Classe especial e Classes 1, 2, 3 e 4 (Tabela 3).

**Tabela 3** – Classes das águas doces e suas finalidades segundo Resolução CONAMA Nº 357/2005.

Classe	Finalidade
Especial	a) Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	a) Abastecimento para consumo humano (após tratamento simplificado); b) Proteção das comunidades aquáticas; c) Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; d) Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	a) Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) Proteção das comunidades aquáticas; c) Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) Aquicultura e à atividade de pesca.
3	a) Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) Pesca amadora; d) Recreação de contato secundário; e e) Dessedentação de animais
4	a) Navegação; b) Harmonia paisagística

**Fonte:** Adaptado de BRASIL (2005).

Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe tendo como critérios, parâmetros máximos permitidos para cada classe, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4** - Condições dos parâmetros das águas doces

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Oxigênio dissolvido	Não inferior a 6 mg L <sup>-1</sup>	Não inferior a 5 mg L <sup>-1</sup>	Não inferior a 4 mg L <sup>-1</sup>	Não inferior a 2 mg L <sup>-1</sup>
Turbidez*	Até 40 NTU	Até 100 NTU	Até 100 NTU	-
pH	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0
Sólidos totais dissolvidos*	Até 500 mg L <sup>-1</sup>	Até 500 mg L <sup>-1</sup>	Até 500 mg L <sup>-1</sup>	-

\* Não possui valor estipulado pela Resolução para a Classe 4.

**Fonte:** Adaptado BRASIL (2005).

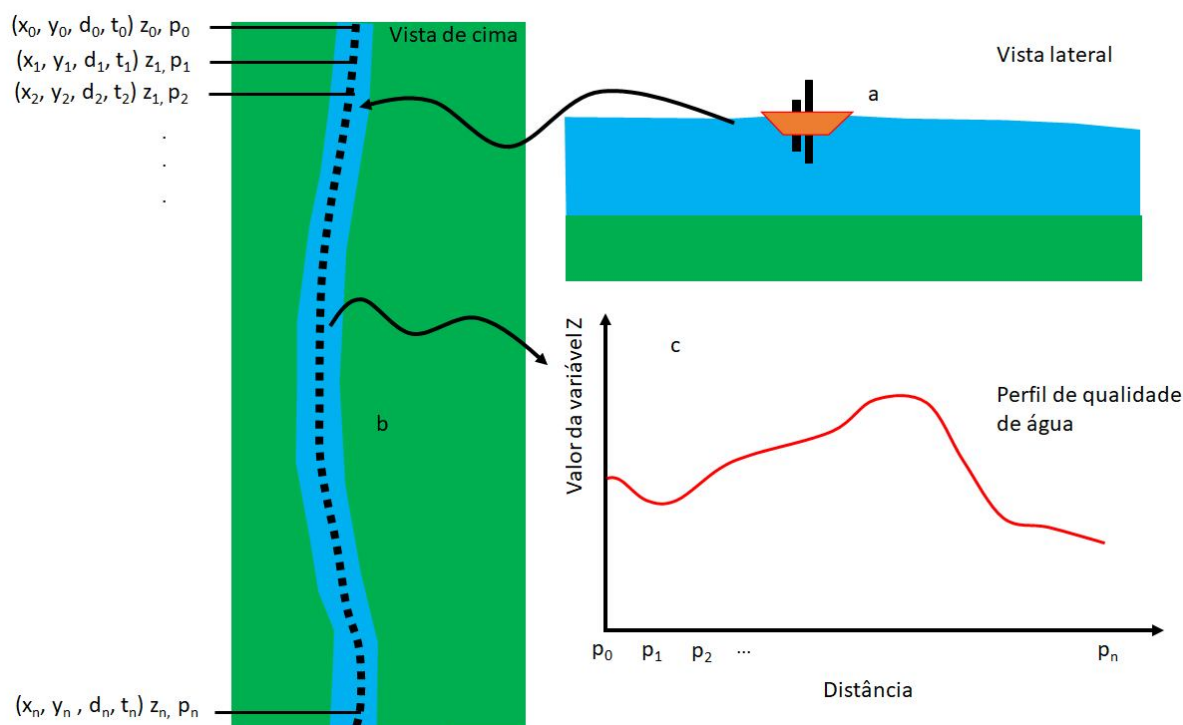
### 3. DESENVOLVIMENTO DA SONDA AQUA-X

#### 3.1. Local e data de desenvolvimento

A sonda Aqua-X foi desenvolvida no Laboratório de Hidrologia e Climatologia e a calibração dos sensores foi realizada no Laboratório de Química, ambos da Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis - SP, no período de 25/10/2018 a 16/05/2019.

#### 3.2. Princípio e funcionamento

O diferencial da sonda Aqua-X, em relação as sondas multiparâmetros convencionais, é o monitoramento dinâmico, ou seja, ela foi projetada para realizar o monitoramento de parâmetros de qualidade de água ao longo de um curso d'água (Figura 3).



**Figura 3** - Princípio de funcionamento projetado para a sonda Aqua-X, em que “x” é a longitude, “y” a latitude, “d” a data, “t” o tempo, “z” o valor da variável de qualidade de água e “p” a distância acumulada.

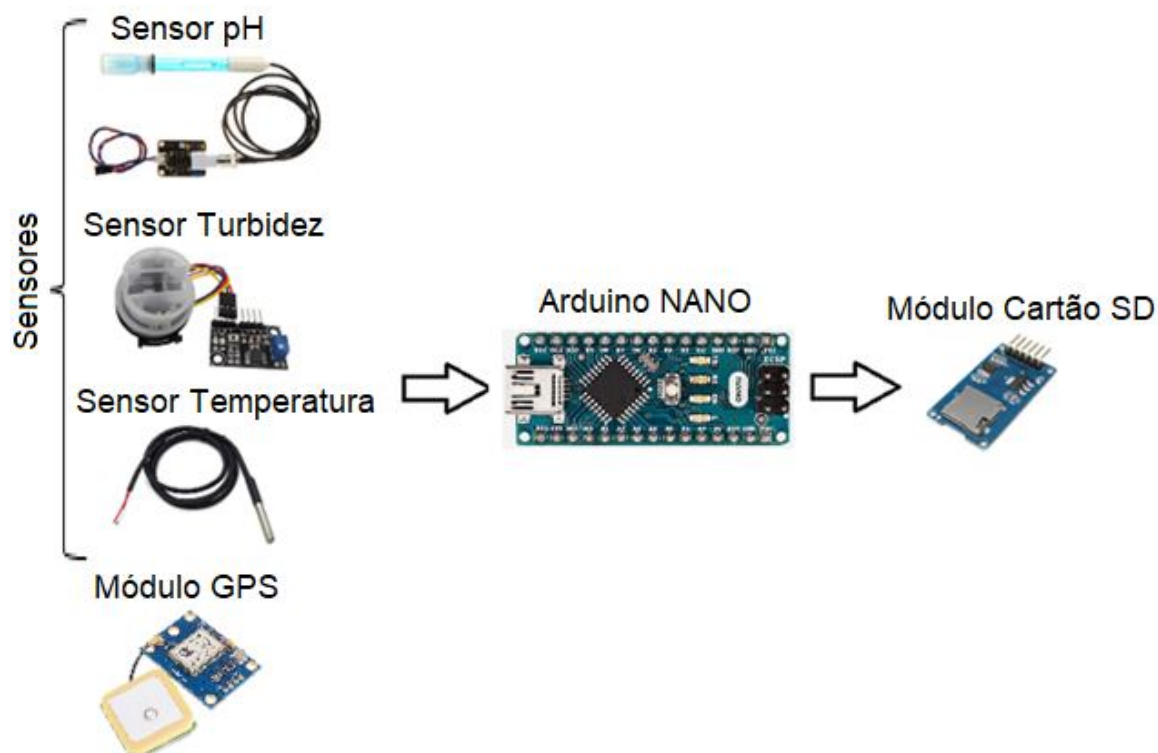
**Fonte:** Autoria própria (2019).

Após colocada sobre a superfície da água, a sonda se desloca com a corrente (Figura 3a), no qual inicia a medição inicial e simultânea da longitude ( $x_0$ ), latitude ( $y_0$ ), data ( $d_0$ ), hora ( $t_0$ ) e do valor da variável ( $z_0$ ). Como a sonda é programada com um

tempo de coleta pré-determinado, ao longo de seu trajeto (Figura 3b), irá registrar os valores das variáveis de qualidade de água  $z_0, z_1, z_2, \dots, z_n$ , nas posições  $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  e nas datas e horários  $(d_0, t_0), (d_1, t_1), (d_2, t_2), \dots, (d_n, t_n)$ , permitindo traçar o perfil de comportamento da variável  $z$  em função da distância  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_n$  (Figura 3c).

### 3.3. Projeto básico

A sonda Aqua-X foi projetada e desenvolvida, em sua primeira versão, para mensurar as variáveis da qualidade de água de pH, turbidez, temperatura e coordenadas geográficas em cursos d'água de pequeno porte (Figura 4).



**Figura 4** - Circuito elétrico e sensores que compõe o sistema de monitoramento da Sonda Aqua-X.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Para o protótipo foi utilizado um microcontrolador Arduino NANO que recebe, pelas entradas analógicas, os sinais de tensão enviados pelos módulos sensores de pH, turbidez e temperatura da água. O microcontrolador também é conectado a um módulo GPS para determinação das coordenadas latitude e longitude para cada ponto de medição ao longo do curso d'água. Os valores dos parâmetros medidos são

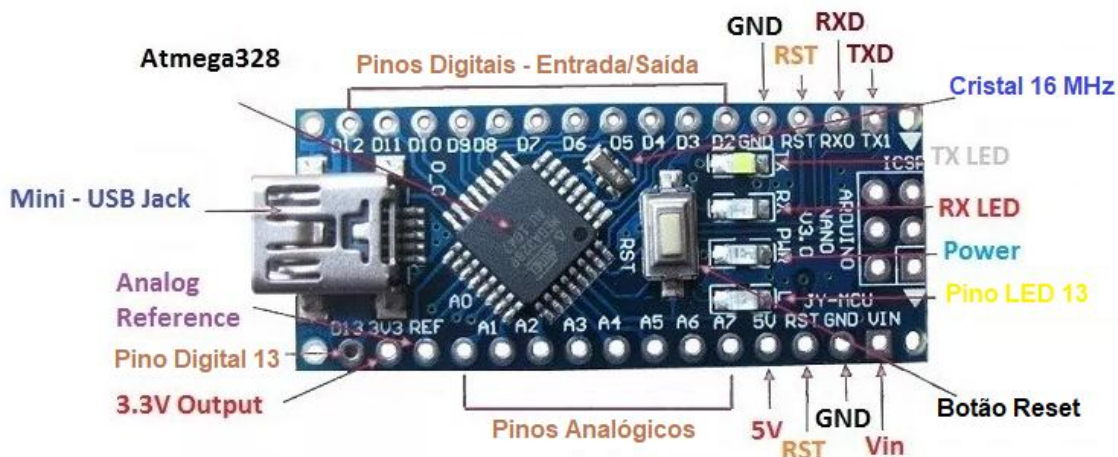
armazenados em um cartão microSD do módulo Cartão SD, conectado na saída do microcontrolador.

### 3.3.1. Microcontrolador Arduino

No desenvolvimento da Sonda Aqua-X foi utilizado o microcontrolador Arduino Nano pelo fato do mesmo ser facilmente integrado a outros dispositivos externos, por possuir entradas e saídas digitais e analógicas, pelas dimensões do microcontrolador e pelo seu custo em relação às soluções análogas existentes no mercado.

Segundo McRoberts (2011), dentre as vantagens do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores, a facilidade de utilização é a principal vantagem, por permitir que pessoas que não são da área técnica possam rapidamente aprender e criar seus próprios projetos em intervalo de tempo relativamente curto. Esse fator torna a utilização desta plataforma bastante difundida.

Ainda de acordo com McRoberts (2011), o Arduino é uma plataforma embarcada, constituído por hardware e software ambos de fonte aberta. Dessa forma, podem criar inúmeros projetos independentes de controle, monitoramento, interatividade, bastando conectá-lo a um computador ou rede e assim receber e enviar dados do Arduino para os dispositivos que estiverem interligados a ele. Na Figura 5 está apresentado detalhadamente as partes e a pinagem dos soquetes do Arduino Nano.



**Figura 5** – Microcontrolador Arduino Nano.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 3.3.2. Sensores

#### a. Sensor de Turbidez

O sensor de Turbidez possui um emissor e um receptor de luz infravermelho em cada lado (Figura 6). Quando a luz infravermelha, gerada pelo emissor, atinge o receptor, mede-se qual foi o nível de atenuação da intensidade da radiação. O nível de luz infravermelha medida no receptor é registrado na forma de tensão de saída, variando entre 0 e 5 Volts, sendo esta tensão lida na placa de interface e condicionamento de sinal do sensor.



**Figura 6** – Sensor de Turbidez da água e módulo eletrônico (a) vista frontal do sensor(b).

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Para este projeto foi utilizado o sensor de turbidez SKU modelo SEN0189 que possui as seguintes especificações: tensão de operação de 5 Vdc, corrente máxima de 50 mA, saída analógica de 0 a 4,5 Vdc e digital (alto – 5 V e baixo – 0 V) e temperatura de operação de -30° C a 80° C.

#### b. Sensor de pH

O módulo sensor de pH possui um eletrodo pH e um módulo eletrônico responsável por condicionar o sinal para uso com o microcontrolador (Figura 7). O módulo eletrônico envia um valor de tensão de 0 a 5 volts dependendo do valor de pH medido.



**Figura 7 - Módulo Sensor pH.**  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

O módulo sensor pH possui as seguintes especificações técnicas: tensão de aquecimento de  $5 \pm 0,2$  volts (AC/DC), corrente de trabalho de 5 a 10 mA, faixa de temperatura de 0 a 60°C, saída analógica de 0 a 5 volts, dimensões do eletrodo de 160mm de largura x 26mm de profundidade x 26mm de altura.

### c. Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura DS18B20 é um termômetro digital produzido pela Dallas Instruments (Figura 8), sendo capaz de medir a temperatura da água com precisão e com resolução de 9-bit a 12-bit.



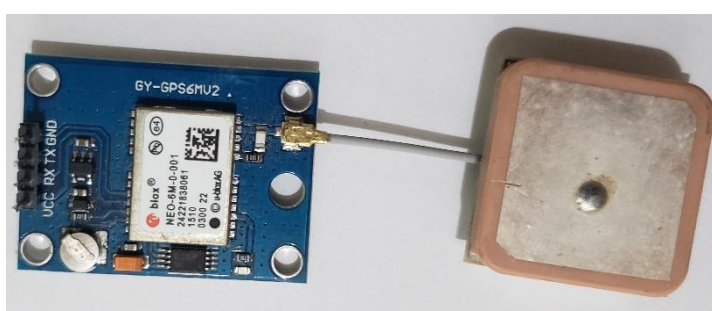
**Figura 8 - Sensor de Temperatura DS18B20.**  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

A comunicação é por 1-fio, ou seja, precisa apenas de 1 pino do microcontrolador para transferir os dados. Este tipo de sensor opera de 3 a 5,5 Volts e pode ser alimentado pela linha de dados. Sua amplitude de operação vai de -55°C até +125°C e com precisão de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , se estiver operando dentro da faixa de -10°C até +85°C.



### 3.3.3. Módulo GPS Neo – 6M

O módulo shield GPS NEO-6M (Figura 9) possui extrema facilidade de ser utilizado, por possuir apenas 4 pinos de conexão (GND, VCC, RX e TX) e padrão de comunicação serial. Ainda assim, é um módulo de alto desempenho para uso com microcontroladores. Esse módulo é capaz de informar a localização, enviando dados referentes a latitude e longitude, data, hora e velocidade de deslocamento através de interface serial de 3,3 V (U-BOX, 2018).



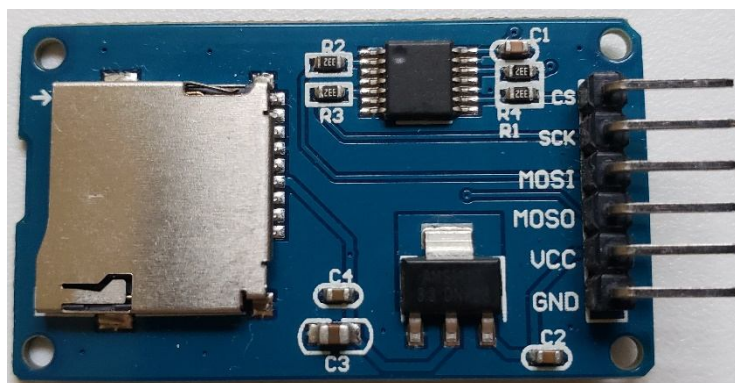
**Figura 9** - Módulo GPS Neo – 6M.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

As principais especificações do NEO-6M modelo GYGPS6MV2 são: Tensão de trabalho: 3,3 V a 5 V; Interface serial de 3,3 V; Taxa de transmissão padrão: 9600 bps; Dimensões do módulo (CxLxA): 30 x 23 x 4 mm; Dimensões da antena (CxLxA): 25 x 25 x 8mm. Precisão horizontal de localização de até 2,5 metros.

### 3.3.4. Módulo Cartão Micro SD

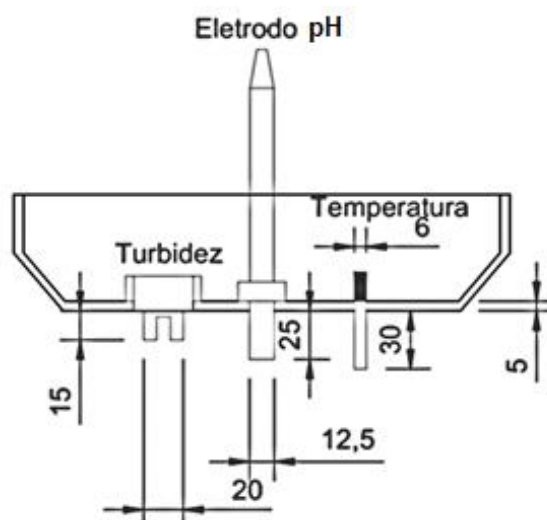
Este módulo permite a leitura e escrita em cartão SD, com fácil ligação ao Arduino e outros microcontroladores (Figura 10). Todos os pinos de ligação estão identificados no módulo, que suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, e alimentação de 3,3 ou 5 V. A comunicação é pela interface SPI (pinos MOSI, SCK, MISO e CS), e o nível de sinal é de 3,3 V, exigindo um divisor de tensão para ligação à microcontroladores que trabalham com 5 V, como o Arduino.



**Figura 10** – Módulo cartão micro SD.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 3.3.5. Plataforma

A plataforma consiste na estrutura que permite a embarcação de todos os componentes físicos da sonda Aqua-X. Sua estrutura foi projetada para alocação dos sensores, o circuito eletrônico, o módulo GPS e a bateria. A plataforma foi projetada utilizando com o auxílio do software AutoCAD, cujo resultado está apresentado nas Figura 11.

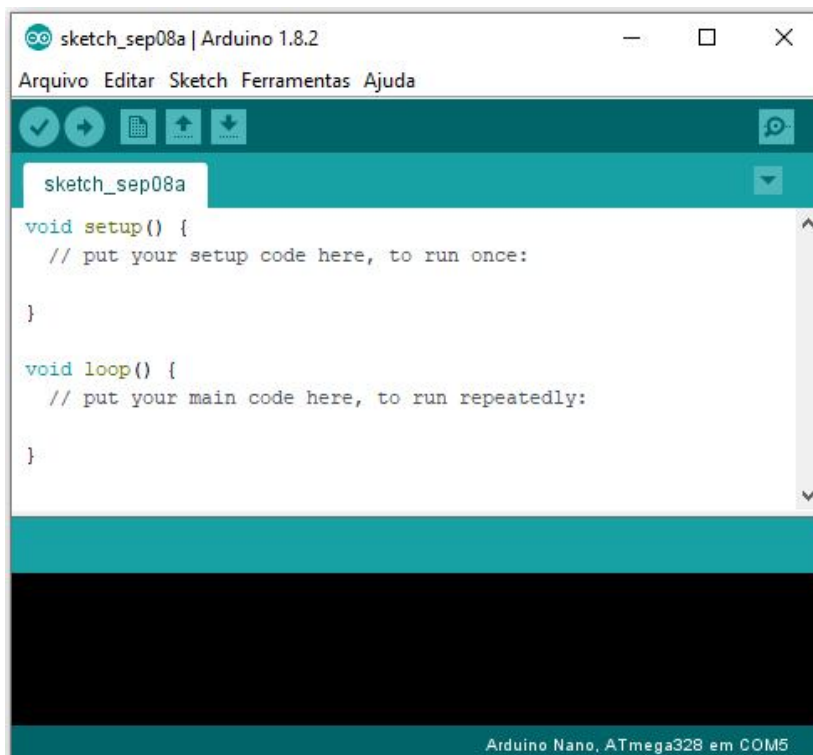


**Figura 11** – Projeto da plataforma (a), onde são embarcados os componentes da sonda Aqua-X (medidas em milímetros).  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 3.4. Softwares

O software utilizado para programar o Arduino é denominado de *Arduino Integrated Development Environment (IDE)*, que significa ambiente de desenvolvimento

integrado de Arduino. O ambiente de desenvolvimento do Arduino oferece uma interface de usuário simplificada e utiliza uma linguagem padrão, denominada Wiring, que é derivada da linguagem C/C++, por expansão de seus recursos. Na Figura 12 está apresentada a interface da IDE utilizada para programação do Arduino.



**Figura 12** – Interface do IDE do Arduino.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

## 4. PREPARAÇÃO E MONTAGEM DA SONDA AQUA-X

### 4.1. Preparação

Na preparação foram realizadas calibrações dos sensores e o teste do módulo GPS, com o objetivo de testar as tecnologias envolvidas e fazer correções de possíveis erros.

### 4.2. Calibrações dos sensores

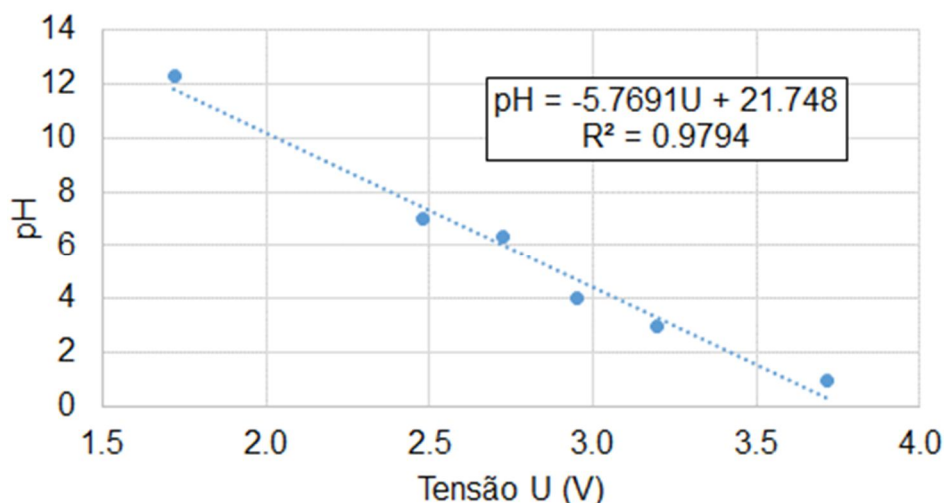
A calibração dos sensores de pH e de turbidez foram realizados no Laboratório de Química da Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis no período de 25/10/2018 a 20/03/2019. Foram coletadas um total de 12 amostras os quais foram obtidas medidas de tensão por sensores com microcontrolador Arduino (variável independente) e as medidas de pH e turbidez por peagâmetro e turbidímetro (variáveis dependentes).

A calibração do sensor de pH foi realizada com a coleta de 6 amostras e obtidas os valores de tensão pelo sensor de pH conectado ao microcontrolador Arduino e as medidas de pH obtidas pelo peagâmetro de bancada (Figura 13).



**Figura 13** – Medição das amostras com o peagâmetro e sensor pH.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

O resultado da calibração do sensor de pH está apresentado na Figura 14, onde pode ser observado um coeficiente de correlação ( $r = \sqrt{r^2} = 0,9896$ ), sendo uma calibração classificada como quase perfeita (HOPKINS, 2000).



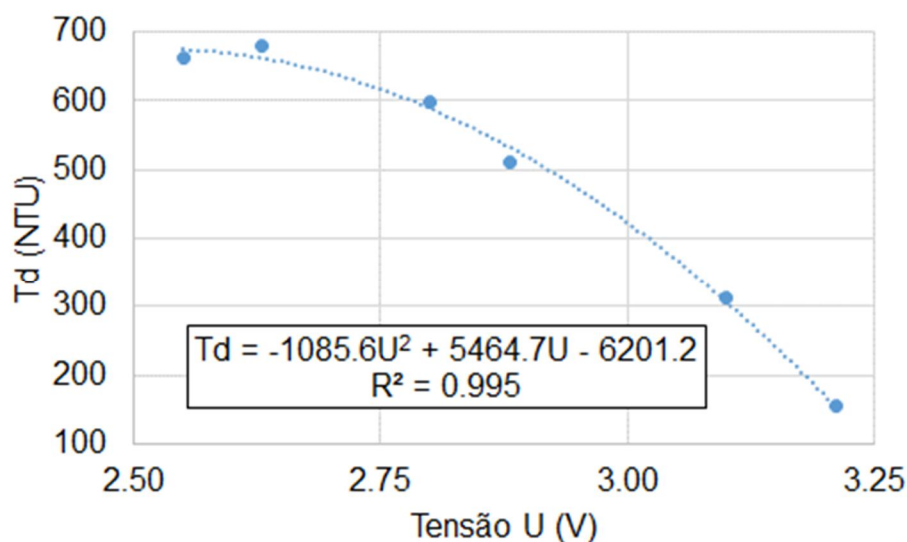
**Figura 14** – Curva de calibração de tensão em pH, onde  $R^2$  é o coeficiente de determinação.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

A calibração do sensor de turbidez foi realizada com a coleta de 6 amostras e obtidos os valores de tensão pelo sensor de turbidez conectado ao microcontrolador Arduino e as medidas de turbidez obtidas pelo turbidímetro (Figura 15).



**Figura 15** – Medição das amostras com o turbidímetro e sensor de turbidez.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

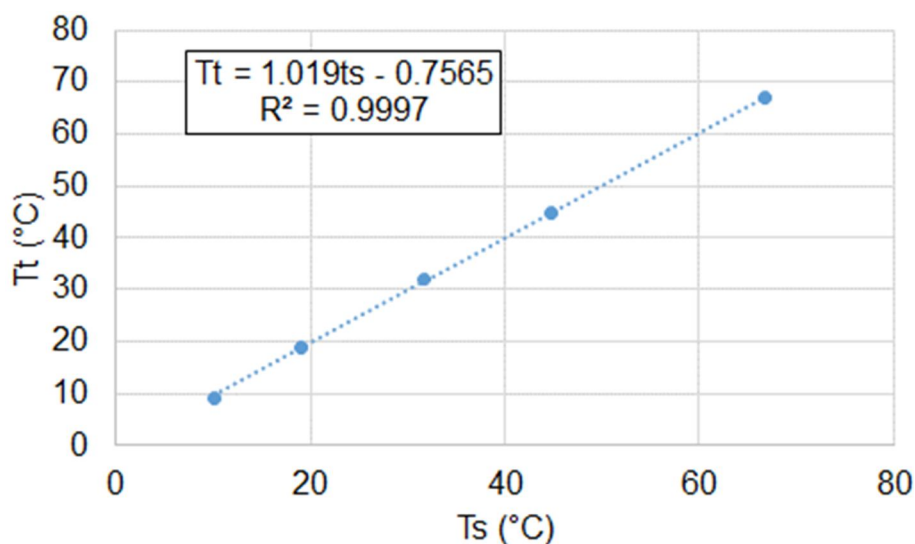
O resultado da calibração do sensor de turbidez está apresentado na Figura 16, onde pode ser observado um coeficiente de correlação ( $r = \sqrt{r^2} = 0,9975$ ), sendo uma calibração também classificada como quase perfeita (HOPKINS, 2000).



**Figura 16** – Curva de calibração de tensão em turbidez, onde  $R^2$  é o coeficiente de determinação.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

A calibração do sensor de temperatura DS18B20 foi realizada a partir de amostras de água em diferentes temperaturas e comparados os valores obtidos pelo sensor de temperatura DS18B20 e lidos através do IDE do Arduino e um termômetro digital tipo espeto da marca Incoterm.

O resultado da calibração do sensor de temperatura está apresentado na Figura 17, onde pode ser observado um coeficiente de correlação ( $r = \sqrt{r^2} = 0,9998$ ), sendo uma calibração praticamente perfeita (HOPKINS, 2000).



**Figura 17** – Curva de calibração de temperatura do sensor em temperatura do termômetro digital, onde  $R^2$  é o coeficiente de determinação.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 4.3. Teste do módulo GPS e micro SD

Foram realizados testes para obtenção dos dados do módulo GPS com o circuito eletrônico montado e assim armazenados no cartão SD. Para isso, foi percorrido um trajeto de aproximadamente 2 km, com GPS configurado para uma taxa de gravação de 6 segundos (10 épocas), com a coleta de 31 pontos (Tabela 5 e Figura 18).

**Tabela 5** - Registro teste da localização, data e horário do módulo GPS e armazenados no micro SD.

Ponto	Latitude	Longitude	Data	Hora
1	-20,3002	-50,2591	28/03/2019	13:11:31
2	-20,3003	-50,2597	28/03/2019	13:11:37
3	-20,3002	-50,2603	28/03/2019	13:11:43
4	-20,3000	-50,2611	28/03/2019	13:11:49
5	-20,3000	-50,2621	28/03/2019	13:11:55
6	-20,3001	-50,2630	28/03/2019	13:12:01
7	-20,3002	-50,2639	28/03/2019	13:12:07
8	-20,3004	-50,2645	28/03/2019	13:12:13
9	-20,3007	-50,2651	28/03/2019	13:12:19
10	-20,3012	-50,2659	28/03/2019	13:12:25
11	-20,3017	-50,2667	28/03/2019	13:12:31
12	-20,3023	-50,2674	28/03/2019	13:12:37
13	-20,3027	-50,2681	28/03/2019	13:12:43
14	-20,3030	-50,2690	28/03/2019	13:12:49
15	-20,3032	-50,2700	28/03/2019	13:12:55
16	-20,3033	-50,2710	28/03/2019	13:13:01
17	-20,3031	-50,2720	28/03/2019	13:13:07
18	-20,3029	-50,2729	28/03/2019	13:13:13
19	-20,3025	-50,2738	28/03/2019	13:13:19
20	-20,3023	-50,2746	28/03/2019	13:13:25
21	-20,3020	-50,2754	28/03/2019	13:13:31
22	-20,3019	-50,2759	28/03/2019	13:13:37
23	-20,3018	-50,2763	28/03/2019	13:13:43
24	-20,3017	-50,2765	28/03/2019	13:13:49
25	-20,3017	-50,2766	28/03/2019	13:13:55
26	-20,3016	-50,2770	28/03/2019	13:14:01
27	-20,3015	-50,2772	28/03/2019	13:14:07
28	-20,3015	-50,2773	28/03/2019	13:14:13
29	-20,3014	-50,2775	28/03/2019	13:14:19
30	-20,3013	-50,2779	28/03/2019	13:14:25
31	-20,3011	-50,2783	28/03/2019	13:14:31

Fonte: Autoria própria (2019).

Pelos resultados observou-se funcionamento normal, representando o trajeto realizado com razoável precisão.



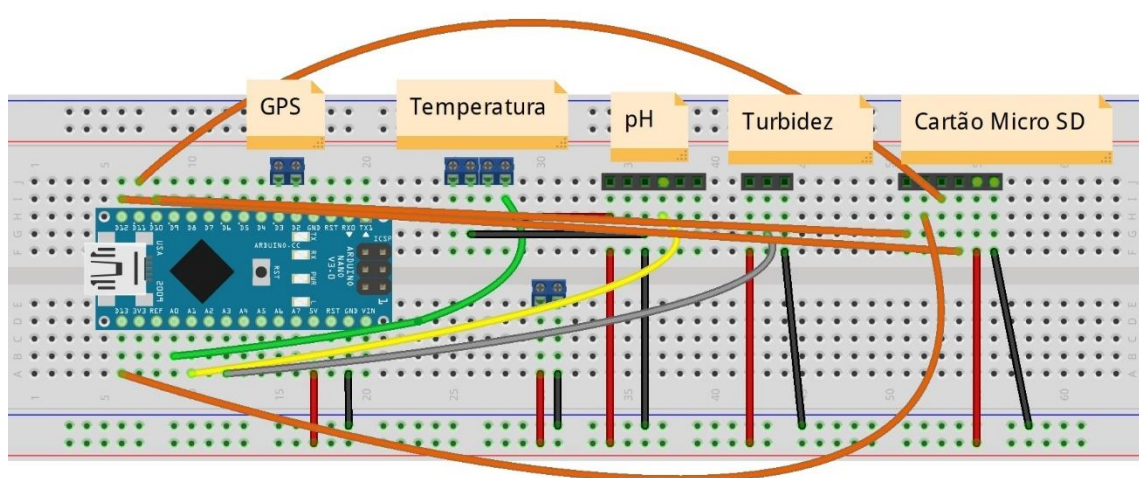


**Figura 18** – Trajeto registrado no teste do módulo GPS, da sonda Aqua-X.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

#### 4.4. Montagem

##### 4.4.1. Circuito Elétrico

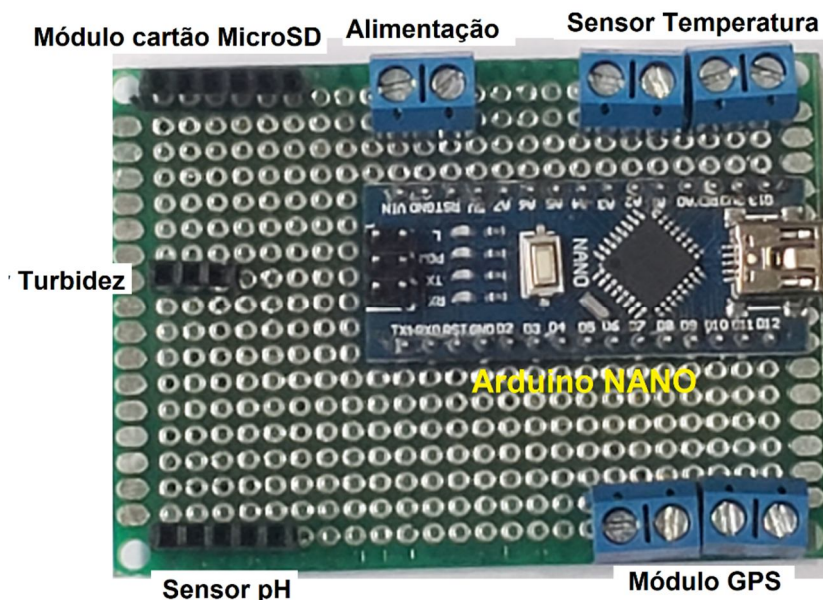
Para a montagem da placa do circuito elétrico da sonda foi utilizado o *software* Fritzing para confecção da placa eletrônica com o Arduino NANO e os conectores para conexão dos sensores de pH, turbidez e temperatura e dos módulos cartão Micro SD e GPS a placa. Na Figura 19 estão apresentadas as ligações dos sensores, módulos e arduino na placa de circuito.



**Figura 19** – Elaboração do circuito elétrico da sonda.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).



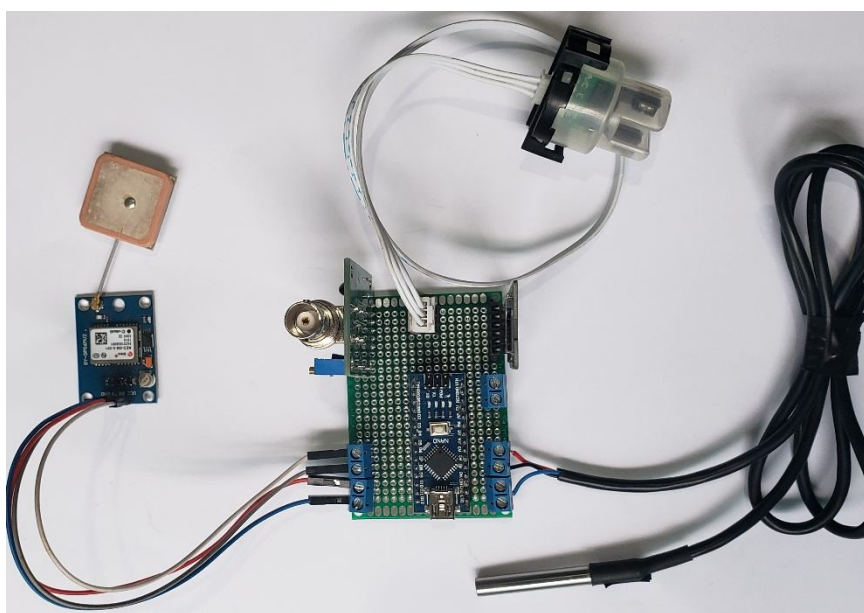
Após a realização das ligações pelo *software*, foi montada a placa de circuito eletrônico para conexão dos sensores de pH, turbidez e temperatura e dos módulos cartão Micro SD e GPS ao Arduino (Figura 20), com a identificação dos conectores de cada sensor e módulo na placa.



**Figura 20** – Identificação dos locais de instalação dos sensores e módulos na placa de circuito eletrônico.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

O resultado da montagem e instalação dos sensores de pH, turbidez e temperatura e dos módulos cartão Micro SD e GPS conectados na placa eletrônica desenvolvida, está apresentado na Figura 21.

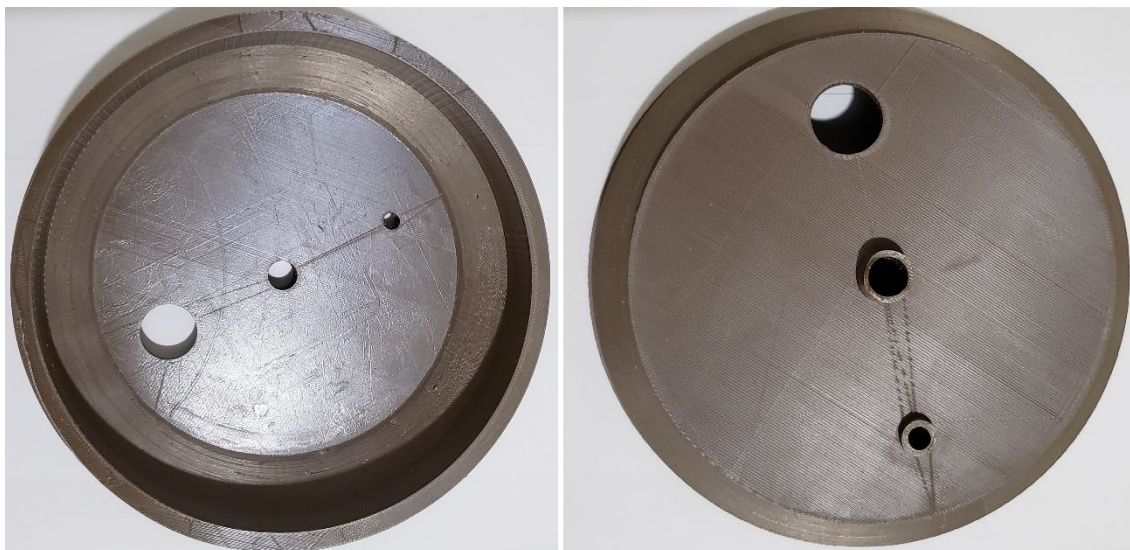


**Figura 21** – Sensores e módulos conectados a placa.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

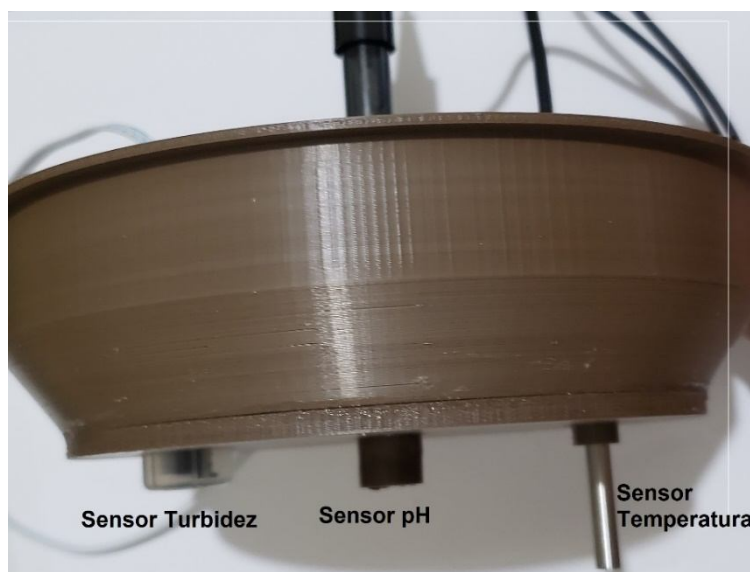
#### 4.4.2. Construção da plataforma

A plataforma da sonda, onde foi embarcado os hardwares, foi construída com o auxílio de uma impressora 3D, cujo resultado pode ser observado na Figura 22.



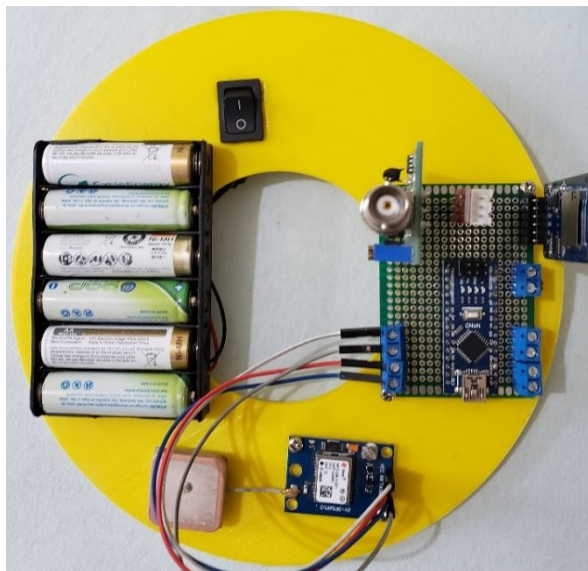
**Figura 22** – Vistas Inferior e superior da plataforma da sonda Aqua-X.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

O material utilizado para construção da plataforma foi o filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) que é um polímero que apresenta boa resistência mecânica e pode ser exposto ao sol sem se deformar. Após a instalação dos sensores na plataforma, o resultado pode ser observado na Figura 23.



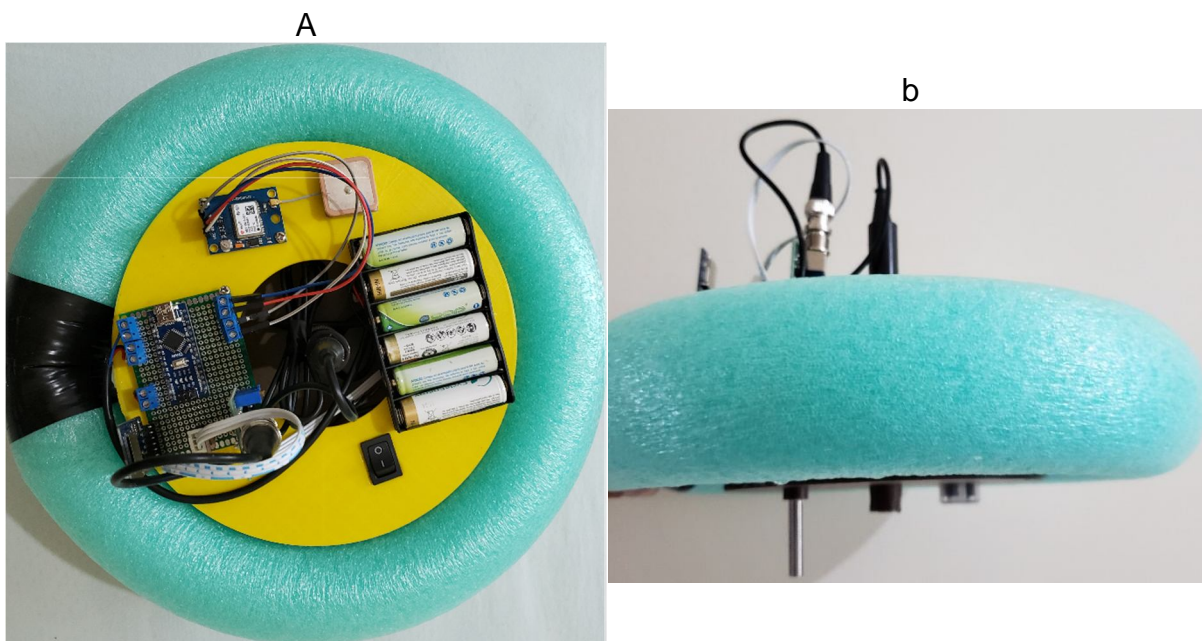
**Figura 23** – Vista lateral plataforma da sonda, com os sensores alocados.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

O módulo GPS, circuito eletrônico e bateria foram instalados em uma base construída por impressora 3D, confeccionada por filamento ABS na cor amarela, que ficará posicionada acima da base dos sensores (Figura 24).



**Figura 24** – Base para o circuito eletrônico, GPS e bateria.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

Para dar maior estabilidade e flutuação da plataforma foi colocada uma espuma flutuante ao redor da base da sonda (Figura 25). Com isso, a montagem dos sensores e módulos na plataforma, finalizou-se a primeira versão da sonda Aqua-X.



**Figura 25** – Vista superior e lateral da sonda Aqua-X, em sua primeira versão.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

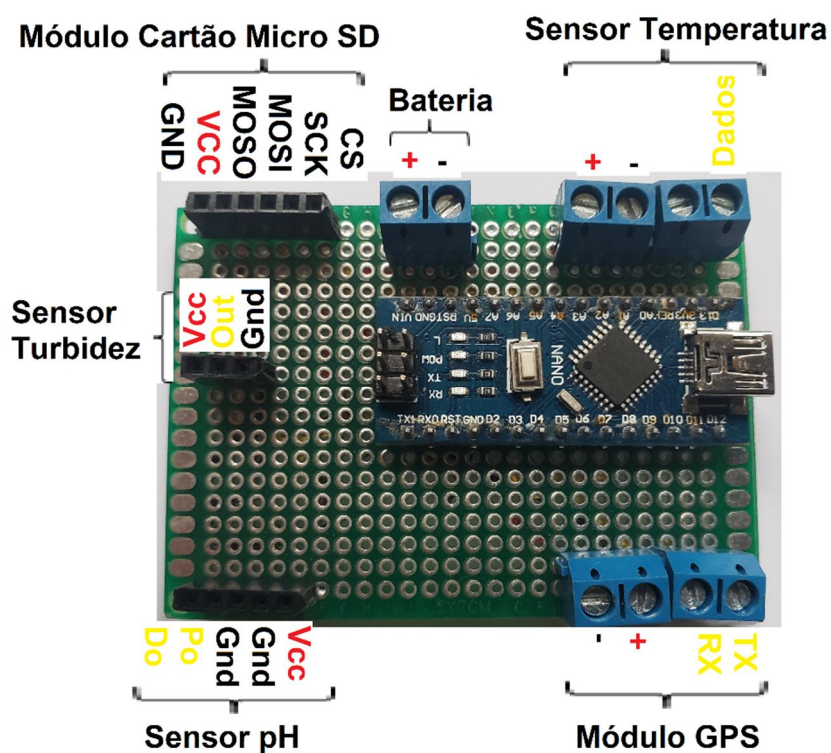


## 5. OPERAÇÃO DA SONDA AQUA-X

### 5.1. Preparação

Para a utilização da sonda Aqua-X em monitoramentos hídricos, inicialmente deve-se realizar os seguintes procedimentos:

- Conectar os sensores e a bateria de acordo com a pinagem apresentada na Figura 26.



**Figura 26** – Identificação da pinagem dos sensores na placa.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

- Inserir o cartão micro SD no módulo cartão micro SD.
- Ligar a sonda no botão liga/desliga.
- Ao alimentar a sonda, um arquivo é gerado e salvo no cartão SD com o nome GPSLOG.
- Aguardar a inicialização do módulo GPS com os satélites. A recepção dos sinais dos satélites é indicada no acender/apagar do Led no módulo GPS (Figura 27).



**Figura 27** – Localização do LED no módulo GPS.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

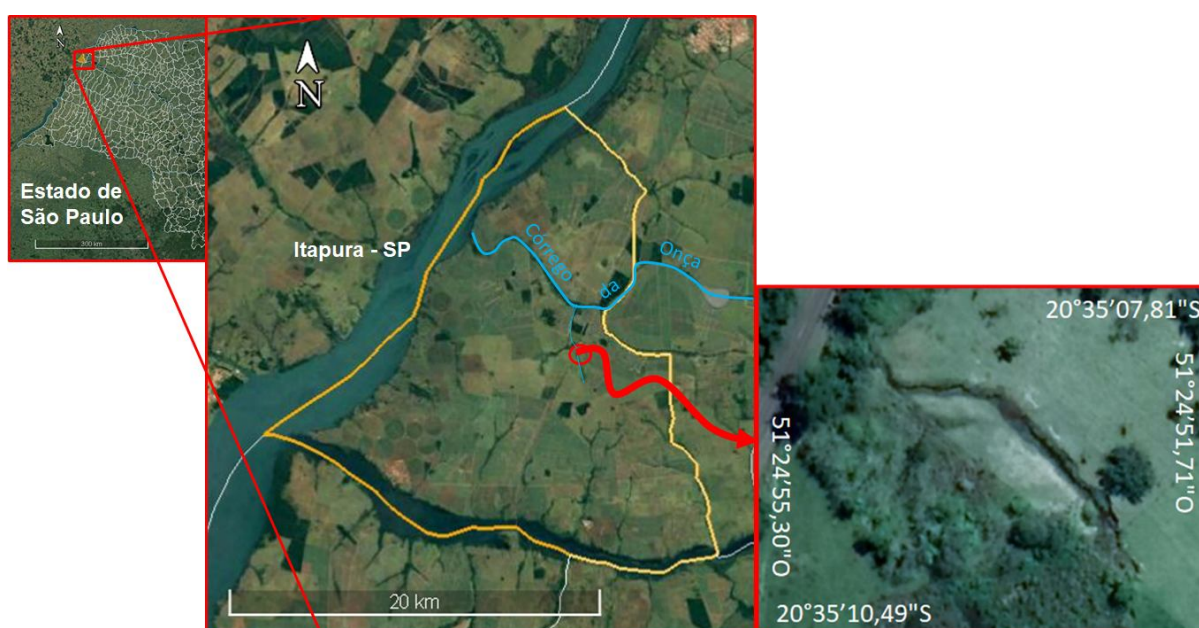
f. Após esta etapa a sonda está pronta para operar para aquisição dos dados.

g. Para finalizar e salvar o arquivo gerado no cartão SD com os dados obtidos, basta desligar a sonda no botão liga/desliga.

## 5.2. Exemplo de aplicação

### 5.2.1. Local

A primeira demonstração da aplicação para verificação da estabilidade e fluabilidade da sonda Aqua-X foi realizada no dia 29/09/2019, em um trecho localizado em um dos afluentes do Córrego da Onça, às margens da Rodovia Gerson Dourado de Oliveira, a 20 km do município de Itapura - SP, entre as latitudes  $20^{\circ}35'07,81''$  e  $20^{\circ}35'10,49''$  Sul e longitudes  $51^{\circ}24'51,71''$  e  $51^{\circ}24'55,30''$  Oeste (Figura 28).



**Figura 28** - Localização do trecho do Afluente do Córrego da Onça, Município de Itapura - SP, onde foi realizada a demonstração.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

O trecho do córrego, embora não possua vegetação ciliar preservada, é caracterizado por uma calha bem preservada e estabilizada por gramíneas de braquiária, com dimensões aproximadas de 1 a 1,5 m de largura com no máximo 0,60 m de profundidade (Figura 29).



**Figura 29** – Visão geral do trecho do córrego onde foi realizada a demonstração da sonda Aqua-X.  
**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 5.2.2. Condições da demonstração

Para a demonstração foi necessário selecionar um trecho sem obstáculos (galhos, plantas aquáticas, entre outros), com calha relativamente estável e o acompanhamento visual da sonda Aqua-X. Assim, o máximo de distância encontrada com estas características foi de cerca de 30 m, com facilidade de introdução e recuperação da sonda.

A taxa de gravação foi programada para 5 segundos (12 épocas) e as variáveis de qualidade de água monitoradas foram temperatura, turbidez e pH. Com as posições e o tempo decorrido entre elas, também se determinou as velocidades e distâncias entre os pontos de coleta.

Com isso, foram realizados 3 testes que consistiram na introdução da sonda em um local e a recuperação no final, entre os 30 m de trecho definidos para os testes. Os testes foram realizados em 19/10/2019 nos horários que se seguem: Teste 1 com



20 pontos medidos (das 11:47:04 às 11:48:39), Teste 2 com 22 pontos medidos (das 11:49:24 às 11:51:09) e Teste 3 com 23 pontos medidos (das 11:54:20 às 11:56:10).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Desempenho da plataforma

Na Figura 30 pode ser observado a sonda Aqua-X no percurso ao longo do trecho de córrego, onde está simultaneamente coletando as temperaturas, turbidez e pH para cada posição geográfica obtida por GPS.



**Figura 30** – Sonda Aqua-X percorrendo o trecho do córrego em estudo.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

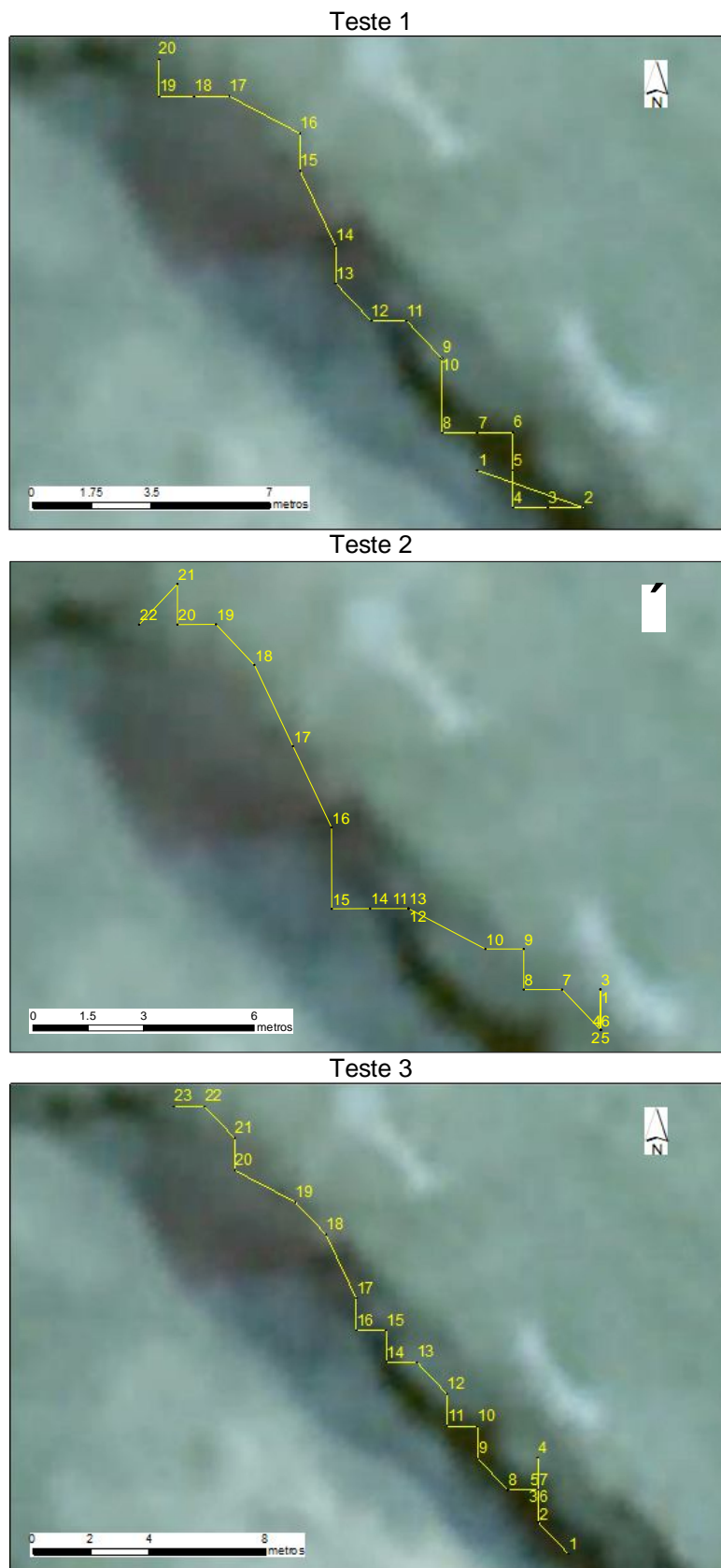
Observou-se, de maneira geral, que o formato selecionado para a plataforma proporcionou bom desempenho em flutuação e em percorrer o curso do córrego superando obstáculos, como meandros e algumas vegetações no leito. Assim, considera-se que a plataforma foi bem desenvolvida.

### 6.2. Desempenho do posicionamento

Na Figura 31 pode-se observar o traçado da sonda Aqua-X de acordo com as coordenadas medidas por GPS nos 3 testes realizados. Pode-se observar que, embora os pontos acompanham a direção do escoamento, os resultados da medição do traçado do trecho do córrego não tiveram um bom desempenho. Isto ocorreu porque o tipo de receptor GPS utiliza a observável código C/A para o posicionamento absoluto em tempo real.

Esses resultados podem ser atribuídos a precisão do módulo GPS utilizado. Em futuras versões, este módulo pode ser melhorado com a utilização de antenas L1 e posicionamento relativo em tempo real, embora essa opção encareça o uso da tecnologia.





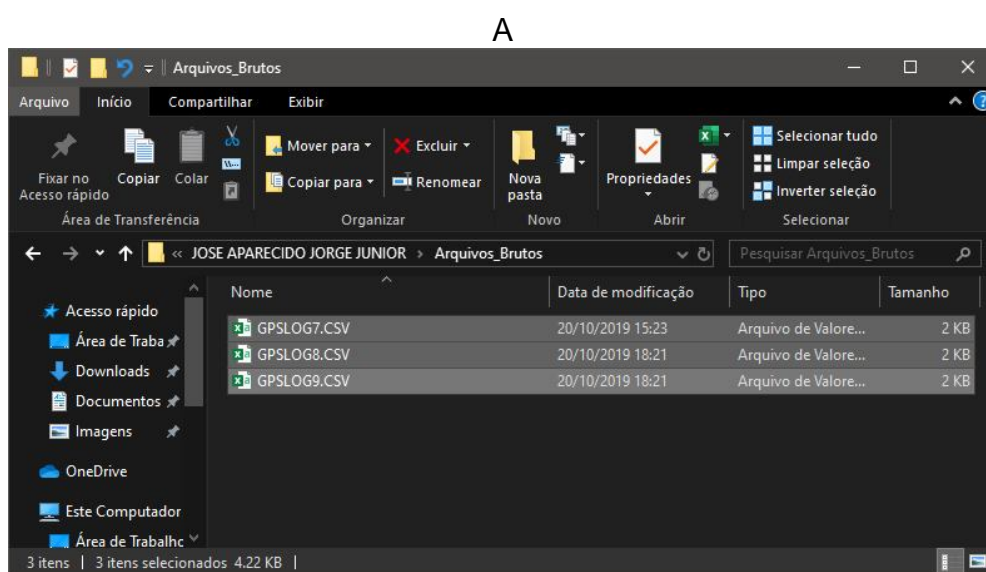
**Figura 31** – Posicionamento dos pontos amostrados em relação ao trecho do córrego, por imagem de satélite.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

## 6.3. Dados de qualidade de água

### 6.3.1. Arquivos de dados gerados

Foram gerados com sucesso 3 arquivos (GPSLOG7, GPSLOG8 e GPSLOG9) no formato CSV, com os dados de qualidade de água, coordenadas geográficas, data e hora armazenados no micro SD durante os 3 testes, conforme observado na Figura 32.



B

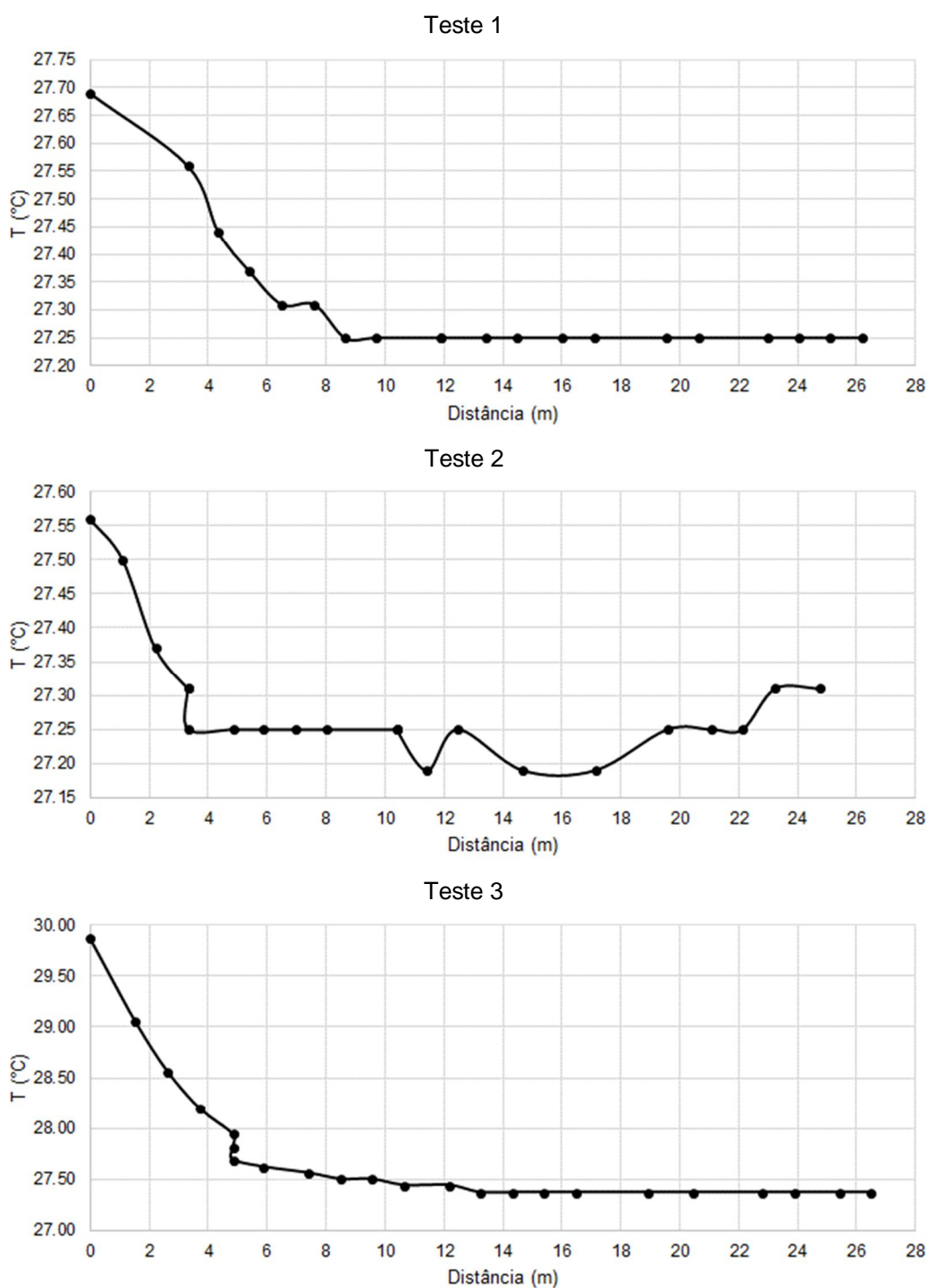
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	latitude	longitude	date	time	temperatura	pH	turbidez	velocidade
2	-20.58575	-51.41471	19/10/2019	11:47:04	27.69	5.56	30	0
3	-20.58576	-51.41468	19/10/2019	11:47:09	27.56	5.5	30	0.2
4	-20.58576	-51.41469	19/10/2019	11:47:14	27.44	5.48	30	0.1
5	-20.58576	-51.4147	19/10/2019	11:47:19	27.37	5.48	30	0.1
6	-20.58575	-51.4147	19/10/2019	11:47:24	27.31	5.45	30	0.2
7	-20.58574	-51.4147	19/10/2019	11:47:29	27.31	5.45	30	0.2
8	-20.58574	-51.41471	19/10/2019	11:47:34	27.25	5.45	30	0.2
9	-20.58574	-51.41472	19/10/2019	11:47:39	27.25	5.45	30	0.4

**Figura 32** – Arquivos gerados nos testes (a) e arquivo CSV do primeiro teste executado diretamente no Software Microsoft Excel.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

### 6.3.2. Perfis de qualidade de água

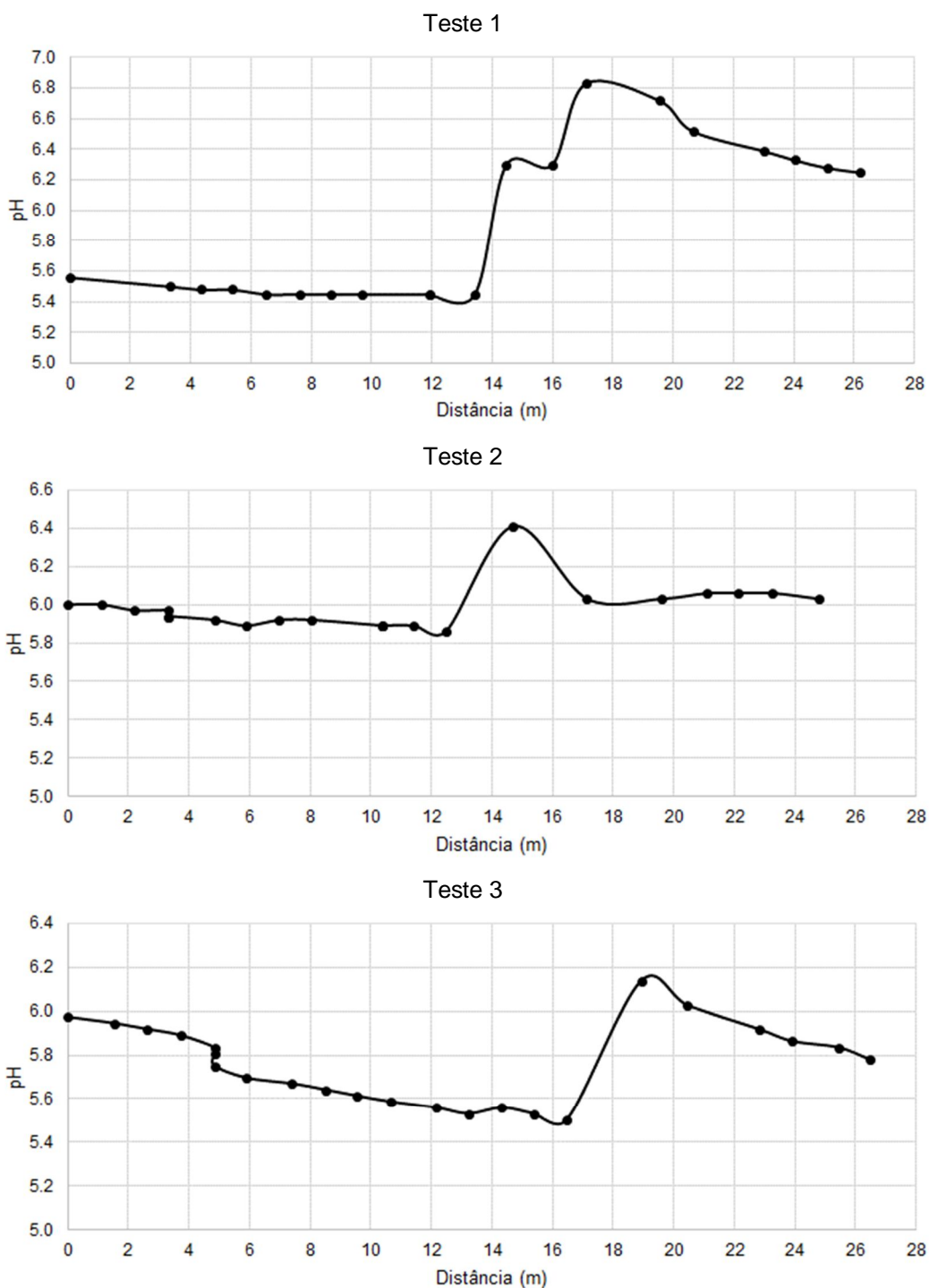
Após descarregados os arquivos do micro SD para o computador, gerou-se os perfis longitudinais das variáveis temperatura, pH, e turbidez, bem como o cálculo da velocidade superficial do escoamento nos 3 testes, em função da distância percorrida (Figuras 33, 34, 35 e 36).



**Figura 33** – Perfil longitudinal da temperatura da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Pode-se observar pelo perfil de temperatura da água nos 3 testes (Figura 33), uma tendência de redução brusca na temperatura da água da distância zero até cerca de 8 m, a partir da qual tende a estabilizar entre 27,2 a 27,3°C. Também observou-se nos 3 testes, um brusco aumento nos valores de pH após 12 a 16 m de distância em relação ao ponto inicial (Figura 34).

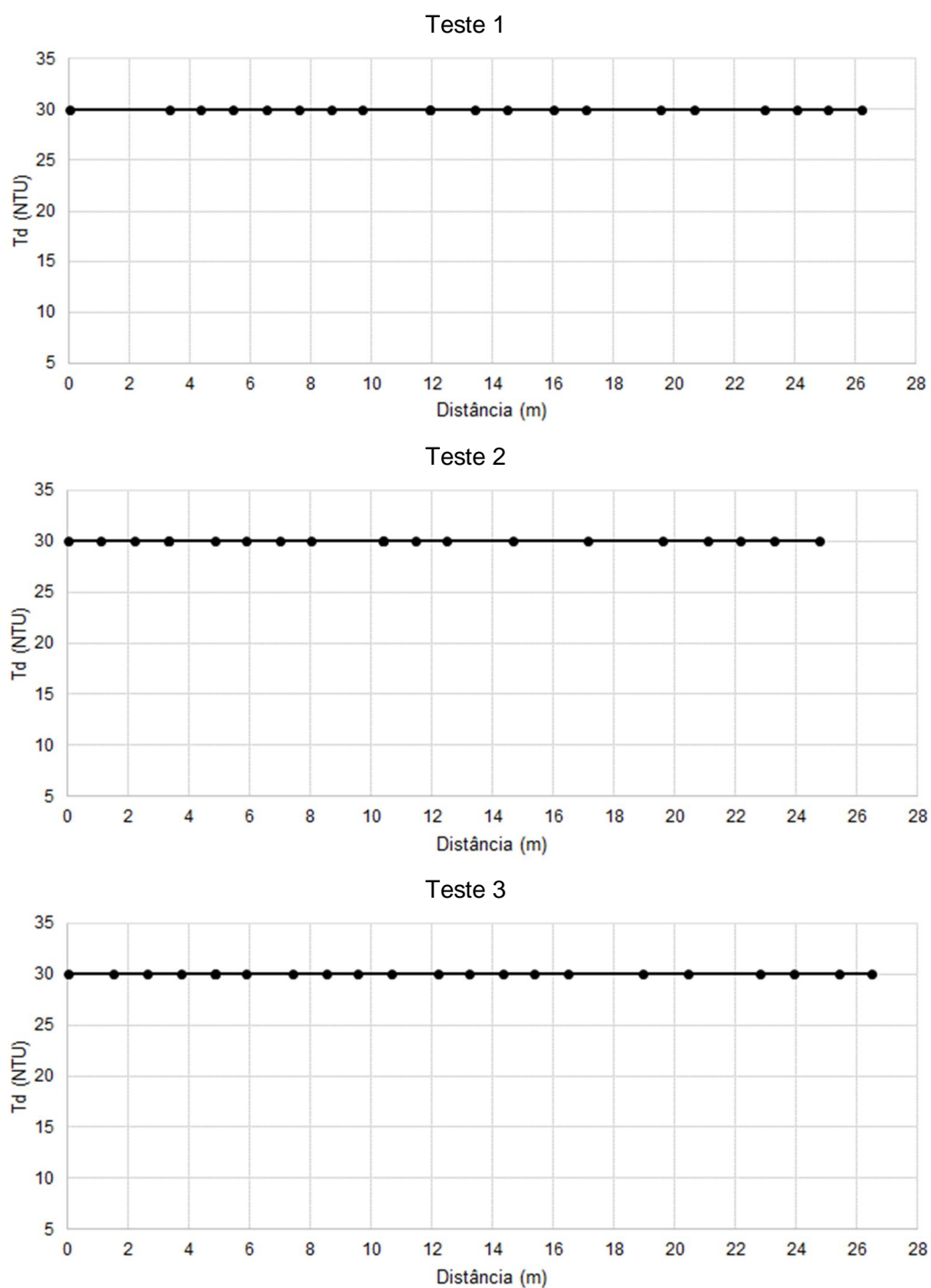


**Figura 34** – Perfil longitudinal do pH da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

As médias de temperatura da água ( $27,31\pm 0,03$ ,  $27,28\pm 0,02$  e  $27,73\pm 0,13^\circ\text{C}$ ) e de pH ( $5,90\pm 0,11$ ,  $5,98\pm 0,02$  e  $5,76\pm 0,04$ ) nos 3 testes, não revelaram diferenças pelo erro padrão da média, o que demonstra certa homogeneidade nas medições.

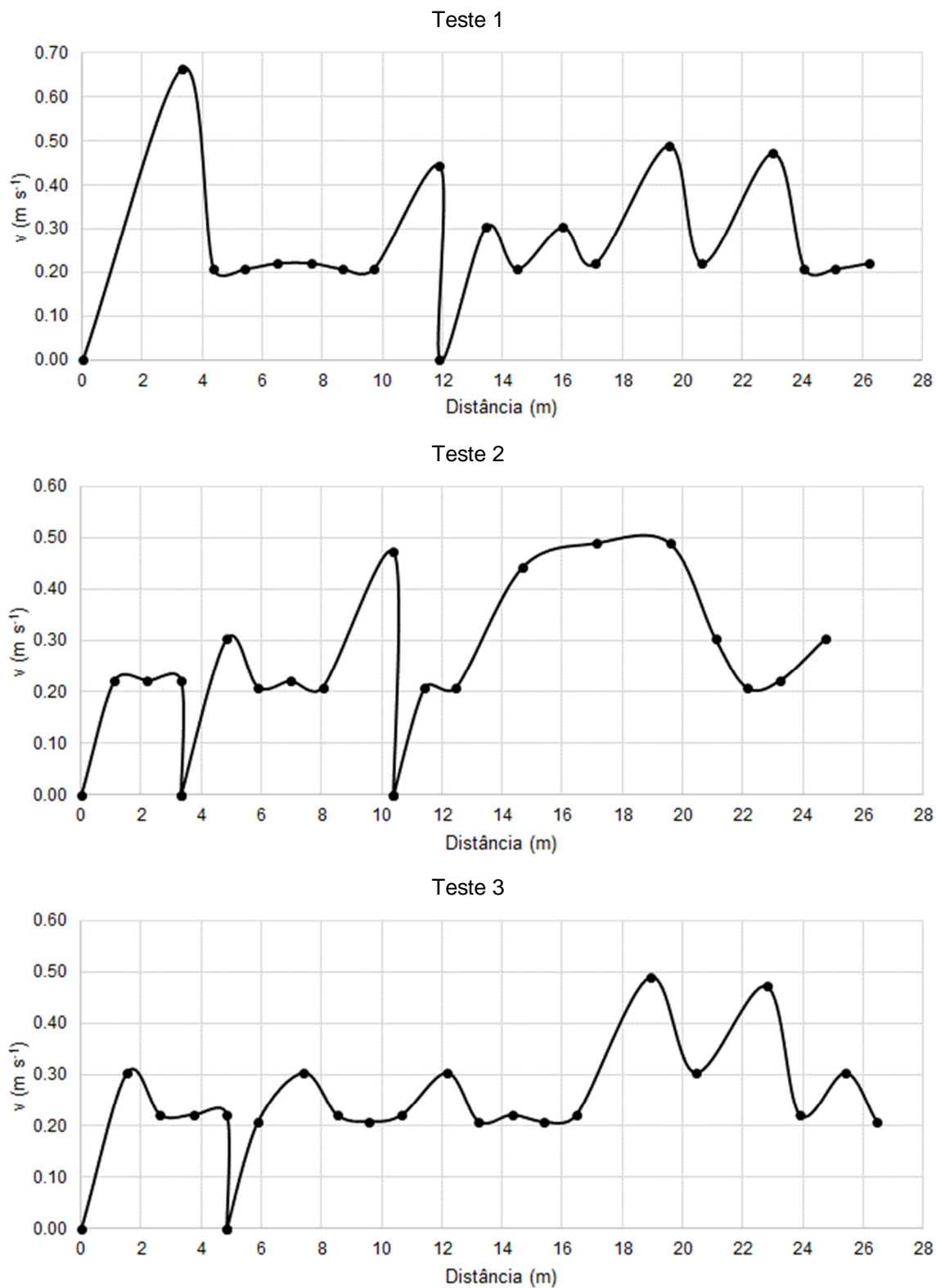
Para a turbidez (Figura 35), nos perfis longitudinais nos 3 testes, não foram observadas variações ao longo do percurso estudado, sendo obtida a média de 30 NTU.



**Figura 35** – Perfil longitudinal da turbidez da água ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Os perfis longitudinais de velocidade superficial do escoamento apresentaram maiores diferenças entre os testes (Figura 36), o que pode ter ocorrido em função do percurso da sonda ao longo do trecho, que nunca é o mesmo.



**Figura 36** – Perfil longitudinal da velocidade superficial do escoamento ao longo do percurso da sonda Aqua-X, nos 3 testes realizados.

**Fonte:** Autoria própria (2019).

Entretanto, as médias obtidas nos 3 testes foram similares pelo erro padrão da média ( $0,26 \pm 0,03$ ,  $0,23 \pm 0,03$  e  $0,23 \pm 0,02 \text{ m s}^{-1}$ ), demonstrando homogeneidade nas medições.

## 7. CONCLUSÕES

Conclui-se que foi possível desenvolver uma sonda multiparâmetro dinâmica (denominada Aqua-X) funcional para o monitoramento da qualidade de água em pequeno curso d'água, com componentes de baixo custo totalizando o gasto para construção do protótipo em torno de R\$ 500,00.

Em três testes realizados a sonda Aqua-X coletou e armazenou múltiplos dados de qualidade da água (temperatura, pH e turbidez), a localização geográfica (coordenadas geodésicas) e o tempo (data e horário), permitindo avaliar o perfil longitudinal da qualidade de água em função da distância.

Os resultados obtidos da calibração dos sensores, posicionamento geodésico e armazenamento de dados, integrados ao circuito eletrônico desenvolvido para a sonda, demonstram a ótima confiabilidade na obtenção das variáveis de qualidade de água.

Os testes realizados em campo demonstraram que a plataforma desenvolvida para embarcar os sensores e demais sistemas eletrônicos da sonda Aqua-X proporcionou bom desempenho em flutuação e capacidade de percorrer pequenos cursos d'água, superando seus obstáculos naturais.

O resultado dos erros da localização dos pontos monitorados foram acima do desejado, porém, compatíveis com o tipo de receptor GPS utilizado, que é para o posicionamento absoluto com código C/A. Sugere-se em futuras versões, para a melhoria posicional, o uso de módulo GPS com a utilização de receptores L1 em posicionamento relativo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/programaNacionalAvaliacaoQualidade.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BORSOI, Zilda Maria Ferrão; TORRES, Solange Domingo Alencar. **A política de recursos hídricos no Brasil**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8 , p. [143]-165, dez. 1997.

BRANCO, S.M. **Hidrologia aplicada à engenharia sanitária**. 3.ed. São Paulo: CETESB/ ASCETESB, 1986. 616 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – (CONAMA). **Resolução nº 357, 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**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA Nº 2.194, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011, **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 20 set. 2018.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Apresentacao/Rede-Hidrometeorologica-Nacional---RHN-304.html>. Acesso em: 12 fev. 2019.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2018/06/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2019.

COSTA FILHO, U. A. **Análise comparativa dos indicadores de impureza e de qualidade da água nos períodos de seca e de cheia: estudo de caso do ribeirão João Leite e do Rio Ponte em Goiânia – Goiás**. Goiânia: UCG, 2006. 37p.

CUTOLO, S. A. **Reuso de águas residuárias e saúde pública**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2009. Doc232ultimaversao.pdf. Acesso em 14 nov. 2018.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Interciência, Rio de Janeiro, 1998, 602 pp.

FERREIRA, A. C. DA S. PÁDUA, V. L. **Qualidade da água para consumo humano.** Cap 4. V, L DE,; HELLER. L,. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte, 2 ed. E atual. Editora UFMG, 2010.

GASTALDINI, M. C.; MENDONÇA, A. S. **Conceitos para a avaliação da qualidade da água.** In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria Cauduro Dias de. (Orgs.) Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2001.

HANISCH, W., FREIRE-NORDI, C. S.; Cap. 14 - **Monitoramento remoto em tempo real de mananciais visando as florações de cianobactérias.** In: POMPEO et al (Orgs.); Ecologia de reservatórios e interfaces; São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

HASAN, J. **Technologies and techniques for early warning systems to monitor and evaluate drinking water quality: a state of the art review.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-05/156, 2005.

HASAN, J. **Technologies and techniques for early warning systems to monitor and evaluate drinking water quality: a state of the art review.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-05/156, 2005. Disponível em: <[cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=144729&fed\\_org\\_id=1253&address=nhsr/&view=desc&sortBy=pubDateYear&showCriteria=1&count=25&searchall='Sensor%20placement'](http://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=144729&fed_org_id=1253&address=nhsr/&view=desc&sortBy=pubDateYear&showCriteria=1&count=25&searchall='Sensor%20placement')> Acesso em: 18 mar. 2018.

HERMES, L. C.; FAY, E. F.; BUSCHINELLI, C. C. DE A.; SILVA, A. S.; FRANÇA E SILVA, E. F. **Participação Comunitária em Monitoramento da Qualidade da Água.** Circular Técnica n. 08. Embrapa - Jaguariúna, SP - Novembro, 2004. 8p. Disponível em: < <http://www.embrapa.gov.br>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics.** Internet Society for Sport Science, Dunedin, 2000. Disponível em: <<http://sports.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

MACEDO, J. A. B. **Introdução a química ambiental:** química e meio ambiente e sociedade. Juiz de Fora: O Autor, 2002.

MAGALHÃES JR., A. P. **A situação do monitoramento das águas no Brasil - Instituições e iniciativas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.3, p.113-135. 2000.

MAIER, M.H. 1987. **Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55" - 48°55"W; 22°30" - 21°55"S - Brasil): qualidade da água do rio principal.** Ciência e Cultura, 39(2): 164-185.

MARGALEF, R. **The place of epicontinental waters in global ecology.** In: MARGALEF, R. Limnology now: a paradigm of planetary problems. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. p.1-8.

MARTINS, M. **Variação e Tendências dos Parâmetros de Qualidade de Água do Ecossistema Aquático da Microbacia Hidrográfica Córrego da Onça no Município de Ilha Solteira/SP**. 2009, 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNESP.

MCROBERTS, M. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

MMA. **Plano Nacional de Recursos hídricos**. Brasília: MMA, 2006.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 416p.

Norma Técnica Interna SABESP. **NTS 013. Sólidos – Método de Ensaio**. São Paulo. 8 p. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Ed. Edgard Blucher Ltda, 3ª Edição, São Paulo, 2008. 363 p.

PARRON, L. M., MUNIZ, D. H. de F., PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/>

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia: ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALENTE, O. F. GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. 1. ed. Viçosa – MG: Aprenda Fácil, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. V. 1. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental – UFMG. 1996.