

**INSTITUTO
FEDERAL**
Ceará

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

MARCELO LARANJEIRA MELO

**VEÍCULO AQUÁTICO AUTÔNOMO PARA MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOAS**

**FORTALEZA, CEARÁ
2017**

Marcelo Laranjeira Melo

VEÍCULO AQUÁTICO AUTÔNOMO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM LAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em energias renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria

FORTALEZA, CEARÁ
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário
Gláucio Barreto de Lima - CRB-3/995

M528 Melo, Marcelo Laranjeira.
 Veículo aquático autônomo para monitoramento da
 qualidade da água em lagoas / Marcelo Laranjeira
 Melo -- 2017.
 125 f.

 Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) -
 - Instituto Federal de Educação Ciência e
 Tecnologia do Ceará, *campus* Maracanaú, 2017.
 Orientador: Prof. Dr. Auzuir Ripardo de
 Alexandria.

 1. ÁGUA - ANÁLISE. 2. SISTEMAS EMBARCADOS.
 3. ROBÓTICA. I. Título.

628.161

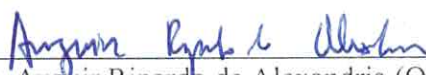
MARCELO LARANJEIRA MELO

VEÍCULO AQUÁTICO AUTÔNOMO PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA
EM LAGOAS

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovada em 18 / 09 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE


Prof. Dr. José Renato de Brito Sousa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE


Prof. Dr. Daniel Albiero
Universidade Federal do Ceará - UFC

*Dedico esse trabalho aos meus pais de coração
que me deram uma Educação que nunca tiveram.*

Agradecimentos

A Deus pelo dom da evolução, aos meus pais que investiram na minha educação, ao meu orientador e conselheiro professor Auzuir Ripardo de Alexandria, que me orientou muito mais além deste trabalho com sua disciplina, espiritualidade, confiança e atitude.

À minha esposa Cristiane Silva Valente Melo pela paciência por minhas horas intermináveis na frente computador. Ao meu cunhado e professor Igor Rafael Silva Valente e sua esposa Natália Parente Valente, que mesmo esperando um neném (meu afilhado João Rafael) sempre estiveram a disposição para me ajudar - principalmente nos testes da lagoa de seu condomínio.

À minha sogra e segunda mãe D. Maria de Fátima Silva Valente, que sempre me acolheu como um filho e sempre me apoiou nesse trabalho e na vida.

Ao professor Daniel Albiero e aos amigos Marcos Roberto de Lima Filho e Carlos Eduardo Anselmo de Moura do GEMASA (Grupo de Pesquisas em Energia e Máquinas para a Agricultura do Semiárido), que me ajudaram nos testes práticos na lagoa da UFC.

Ao grande professor Marcus Fábio Fontenelle do Carmo pelo apoio incondicional e inspiração como docente.

Aos colegas do Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM)- IFCE/Fortaleza pelo apoio e companheirismo, aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis -PPGER, do IFCE/Maracanaú.

Aos professores José Renato de Brito Sousa e Daniel Albiero, que aceitaram compor minha banca de defesa, pelas sugestões e análises significativas.

Com vocês, divido a alegria desta nova etapa em minha vida.

“Eu acredito na intuição e na inspiração. A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado, enquanto a imaginação abraça o mundo inteiro, estimulando o progresso, dando à luz à evolução. Ela é, rigorosamente falando, um fator real na pesquisa científica”.

Albert Einstein

Resumo

A manutenção dos recursos hídricos através de coletas e análises laboratoriais é um fator primordial para a medição da qualidade da água. A principal dificuldade encontrada para a coleta e análise da água é a própria logística do processo, pois, algumas vezes, as coletas são feitas em aquíferos muito distantes com a utilização de pequenos barcos, utilizando processos manuais e, as vezes, baseadas em poucas amostras. O transporte e acondicionamento das amostras devem seguir rigorosos procedimentos de higiene, além da disponibilidade do laboratório no dia da coleta. Nesta dissertação é descrito o desenvolvimento, construção e implementação de um Aerobarco (VECTOR) com software embarcado controlando vários sensores. Este Aerobarco foi desenvolvido em forma de mini-barco em uma estrutura de fibra de vidro, cujo seu interior abriga uma bateria, um mini-computador *Raspberry Pi*, um roteador *WI-FI* para conexão com notebook, *tablet* ou celular e sensores conectados a plataforma Arduino, sendo esta, uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre. O Aerobarco foi validado em 2 lagoas em Fortaleza e em um açude no município de Pacatuba. Os resultados são coletados com o intuito de analisar os parâmetros de cada lagoa. Após os testes foram evidenciados que a média de temperatura do ambiente na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira obteve um valor menor (27,11 °C) enquanto que no açude Piripal esse valor foi maior (33,89 °C). A média da temperatura da água foi maior na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira com 28,05 °C, enquanto na Lagoa de Cajazeiras foi de 27,54 °C. O Potencial de Oxirredução teve uma média bem maior no Açude Piripau chegando a um valor de 241,01 mV, enquanto que na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira seu valor foi de 38,45 mV. O Oxigênio Dissolvido obteve um valor maior na Lagoa de Cajazeiras com 9,1 ppm e um valor menor no Açude Piripau foi com 7,56 ppm. O pH obteve um valor médio de 5,9 no Açude Piripau e 7,9 na Lagoa de Cajazeiras. A principal contribuição deste trabalho é o desenvolvimento do sistema de aquisição de parâmetros da água em vários pontos da lagoa de forma autônoma.

Palavras-chaves: Análise da água, Navegação autônoma, Robótica Móvel, Sistemas Embarcados, Sustentabilidade Ambiental, USV.

Abstract

The maintenance of water resources through collection and laboratory analysis is a key factor in measuring water quality. The main difficulty found for the collection and analysis of water is the logistics of the process, the collected in aquifers very far away from of small boats, using manual processes and sometimes based on a few samples. The transport and packaging of the samples must be strictly hygiene procedures, in addition to the availability of the laboratory on the day of collection. This dissertation describes the development, construction and implementation of an airboat (VECTOR) with embedded software with several sensors. The airboat was developed in the form of mini-boat in a structure of fiberglass, whose interior houses a battery, a Raspberry Pi computer, a wifi router for connection to notebook, tablet or mobile phone and sensors connected to the Arduino platform, being this, a platform of electronic prototyping of free hardware. The aeroboat was validated in two lagoons in Fortaleza and in a reservoir in the municipality of Pacatuba. The results are collected with the purpose of analyzing the parameters of each pond. After the tests it was evidenced that the average ambient temperature in the lagoon of the Jardins de Alice e Pereira condominium obtained a lower value (27.11 °C) while in the Piripal reservoir this value was higher (33.89 °C). The average temperature of water was higher in the lagoon of Jardins de Alice e Pereira condominium with 28.05 °C, while in Cajazeiras Lagoon it was 27.54 °C. The Oxi-Reduction Potential obtained a higher average in Piripau waters reaching a value of 241.01 mV, while that in the lagoon of the Jardins de Alice e Pereira condominium its value was of 38,45 mV. The Dissolved Oxygen obtained a higher value in the Cajazeiras Lagoon with 9.1 ppm and a lower value in the Piripau crop was 7.56 ppm. The Hydrogenion Potential (pH) obtained an average value of 5.9 in the Piripau dam and 7.9 in the Cajazeiras Lagoon. The main contribution of this work is the development of the system of acquisition of parameters of the water in several points of the lagoon of autonomous form.

Keywords: Water Analysis, Autonomous Navigation, Mobile Robotics, Embedded Systems, Environmental Sustainability, USV.

Sumário

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de Símbolos	vi
Lista de Abreviações	viii
1 Introdução	11
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Organização da Dissertação	15
2 Fundamentação Teórica e Estado da Arte	17
2.1 Teoria da Navegação	17
2.2 Composição de barco em fibra de vidro	18
2.2.1 Fibra de vidro	19
2.3 Flutuabilidade	21
2.4 Aeromotor	22
2.5 Bateria	23
2.6 Princípio da Navegação Autônoma	23
2.6.1 Sistema de Navegação Inercial	24

2.6.2	Navegação Autônoma por geolocalização	25
2.6.3	<i>Software</i> de monitoramento e gerenciamento	26
2.7	Barcos de Navegação Autônoma	27
2.7.1	<i>Beagle-B</i>	27
2.7.2	ALANIS	28
2.7.3	ARC	29
2.7.4	<i>Unmanned Airboat</i>	30
2.7.5	Comparativo das características dos barcos	31
2.7.6	Outros projetos	33
2.8	Conclusão do capítulo	33
3	Materiais e métodos	34
3.1	Construção do barco	36
3.1.1	Construção do casco	36
3.2	Levantamento de <i>Hardware</i>	38
3.2.1	Sensores de monitoramento de parâmetros da água	38
3.2.2	IMU	40
3.2.3	GPS	42
3.2.4	Controle do Leme	43
3.2.5	AEROMOTOR E ESC	44
3.2.6	Bateria	46
3.2.7	Sensor de temperatura	47
3.2.8	Arduino	48
3.2.9	Raspberry Pi	49
3.3	Desenvolvimento dos módulos de controle	51
3.3.1	ATLAS MODULE	51
3.3.2	MAIN MODULE	53

3.4	Protocolos de comunicação	57
3.4.1	Protocolo NMEA	57
3.4.2	Comunicação intermódulos	58
3.4.3	Comunicação <i>Ground Station</i>	58
3.5	Desenvolvimento do <i>Software</i> de controle	58
3.6	Metodologia de testes	64
3.6.1	Teste não-autônomo	65
3.6.2	Teste autônomo	67
3.7	Conclusão do Capítulo	68
4	Resultados e discussões	69
4.1	Análises das Lagoas	69
4.1.1	Lagoa de Cajazeiras	70
4.1.2	Lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira	73
4.1.3	Açude Piripau	77
4.2	Análise comparativa entre as lagoas	80
4.2.1	Discussões e conclusão do Capítulo	83
5	Conclusão e Trabalhos Futuros	88
	Referências Bibliográficas	90
	Apêndice A – Resultados gerais de coletas nas lagoas	97
	Anexo A – Análise da Qualidade da Água	101
A.1	Parâmetros de qualidade da água	101
A.1.1	Oxigênio Dissolvido	101
A.1.2	Temperatura	102
A.1.3	Potencial de Oxirredução da água (ORP)	102

A.1.4	Potencial Hidrogeniônico (pH)	103
A.1.5	Tabela resumo da qualidade da água	104
A.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO	105
A.3	Legislação	105
 Anexo B – Carcterísticas dos sensores <i>Atlas Scientific</i>.		110
 Anexo C – Esquemático da placa <i>Raspberry pi B+</i>.		112
 Anexo D – Esquemático da placa Arduino Mega 1280.		113

Lista de Figuras

1	Mapa mental da dissertação.	16
2	Vento aparente.	18
3	Manta de fibra de vidro.	19
4	Flutuabilidade do casco.	21
5	Motor <i>Brushed</i> e Motor <i>Brushless</i>	22
6	Distância entre dois pontos na Esfera Terrestre.	25
7	<i>Beagle-B</i>	27
8	ALANIS.	28
9	ARC.	29
10	<i>Unmanned airboat</i>	30
11	Mapa de ideias para a metodologia utilizada no trabalho.	35
12	Estrutura do Barco em papelão.	36
13	Laminação do Barco em fibra de Vidro.	37
14	Estrutura do Barco em fibra de Vidro.	38
15	Atlas Scientific kit.	39
16	Conexão do sensor ao microcontrolador para operação e calibração. . .	40
17	Esquemático do módulo GY-87.	41
18	Módulo GY-87.	41
19	Módulo GPS <i>GlobalSat</i> BU-353S4 USB.	42
20	Servo RDS3115-MG.	43
21	Leme acoplado ao servo RDS3115-MG.	44

22	<i>Motor elétrico Turnigy D3536/5.</i>	44
23	Hélice	45
24	Controlador Eletrônico de Velocidade.	46
25	Bateria <i>Unipower</i> de 12 V x 7 Ah.	47
26	Sensor de temperatura DS18B20.	47
27	Arduino Mega 1280.	48
28	Mega Sensor <i>Shield</i>	49
29	<i>Raspberry pi</i> B+.	50
30	ATLAS MODULE.	51
31	Esquemático do ATLAS MODULE.	52
32	Sequência de aquisição de dados de cada sensor.	53
33	Fluxograma do serviço de controle do MAIN MODULE.	54
34	Arquitetura de hardware do aerobarco.	55
35	MAIN MODULE e demais componentes abrigados no barco.	56
36	Barco montado no suporte de madeira para testes em lagoas.	56
37	<i>Software</i> de gerenciamento do barco.	60
38	Distância e ângulo de rolamento.	62
39	Fluxograma de funcionamento geral do <i>software</i> do barco.	63
40	Lagoa do condomínio Jardins Alice e Pereira em Fortaleza/CE.	64
41	Modificação do hardware para controle remoto.	65
42	Coleta de dados manual na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.	66
43	Coleta de dados autônoma na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.	67
44	Coleta de dados na lagoa de Cajazeiras.	70
45	Gráfico de temperatura do ambiente x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.	71
46	Gráfico de temperatura da água x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.	71

47	Gráfico de OD x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.	72
48	Gráfico de ORP x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.	72
49	Gráfico de pH x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.	73
50	Coleta de dados na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira. . .	73
51	Gráfico de temperatura do ambiente x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.	74
52	Gráfico de temperatura da água x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.	75
53	Gráfico de OD x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.	75
54	Gráfico de ORP x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.	76
55	Gráfico de pH x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.	76
56	Coleta de dados no açude Piripau.	77
57	Gráfico de temperatura do ambiente x waypoint no açude Piripau. . . .	78
58	Gráfico de temperatura da água x waypoint no açude Piripau.	78
59	Gráfico de OD x waypoint no açude Piripau.	79
60	Gráfico de ORP x waypoint no açude Piripau.	79
61	Gráfico de pH x waypoint no açude Piripau.	80
62	Comparativo da temperatura do ambiente das lagoas.	80
63	Comparativo da temperatura da água das lagoas.	81
64	Comparativo de ORP das lagoas.	81
65	Comparativo de OD das lagoas.	82
66	Comparativo de pH das lagoas.	82
67	Esquemático <i>Raspberry pi</i> B+.	112
68	Esquemático da placa Arduino Mega 1280.	113

Lista de Tabelas

1	Propriedades da resina de epóxico não reforçada e reforçada com fibra de vidro.	20
2	Tabela comparativa das características dos barcos.	32
3	Características do GY-87	40
4	Características do módulo GPS <i>GlobalSat</i> BU-353S4 USB.	42
5	Características do Servo RDS3115-MG.	43
6	Características do Motor <i>Turnigy D3536/5 1450KV Brushless Outrunner</i>	45
7	Protocolo NMEA	57
8	Protocolo Atlas Module.	58
9	Dados gerais de coletas na Lagoa de Cajazeiras.	70
10	Dados gerais de coletas na Lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.	74
11	Dados gerais de coletas no açude Piripau.	77
12	Tabela comparativa das características dos barcos com o desenvolvido neste trabalho.	86
13	Tabela de coletas na lagoa de Cajazeiras	98
14	Tabela de coletas na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira	99
15	Tabela de coletas no açude Piripau	100
16	Tabela resumo de parâmetros da qualidade da água	104
17	Tabela de enquadramento na classe águas doces	107
18	Tabela de enquadramento na classe águas salinas	108
19	Tabela de enquadramento na classe águas salobras	109

20	Características do sensor pH	110
21	Características do sensor de Oxigênio Dissolvido (OD)	110
22	Características do sensor de Potencial de Oxirredução (ORP)	111

Lista de Símbolos

V	Volts
mV	milivolts
A	Ampere
A/h	Ampere por hora
mA	Miliamperes
W	Watt
RPM	Rotações por minuto
kW	kilowatt
kV	kilovolt
kv	RPM por Volt (ver seção Aeromotor e ESC)
KVA	kilovolt por ampere
AA	Pilha Dois As
m	metro
cm	centímetros
mm	milímetros
kg/cm	kilograma por centímetros
mg/L	miligramas por litro
ppm	pontos por milhão
°/s	Graus por segundo
°C	Graus Celsius

g	Força gravitacional ou grama
MHz	Megahertz
hPa	hectopascal
$\mu s/cm$	microsiemens por centímetro

Lista de Abreviações

INS	Sistemas de navegação por inércia
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IMU	Unidade de Medida Inercial
OD	Oxigênio Dissolvido
ORP	Potencial de Oxirredução
pH	Potencial Hidrogeniônico
VA	Veículos Autônomos
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
ESC	<i>Eletronic Speed Controller</i>
ASV	<i>Autonomous Surface Vehicle</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USV	<i>Unmanned Surface Vehicle</i>
UHF	Frequência Ultra elevada.
rpm	Rotações por minuto
IP	<i>Internet Protocol</i>
WLAN	Rede local sem fio
Rs232	Protocolo de comunicação Serial
UART	Universal Asynchronounous Receiver/Transmite
I2C	Inter-Integrated Circuit
SCL	<i>Serial Clock</i>

SDA	<i>Serial Data</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
OneWire	<i>Single-wire (plus ground) communications protocol</i>
DOF	<i>Degrees of Freedom</i>
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i>
UBX	Protocolo proprietário da empresa U-blox
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services</i>
GND	<i>Ground</i>
VCC	<i>Voltage at the common collector</i>
SBEC	<i>Smart Brushless Electronic Speed Controller</i>
CC-CC	Conversor de corrente contínua para corrente contínua
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
I/O	<i>INPUT - OUTPUT</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SRAM	<i>Static RAM</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
kB	Kilobyte
kv	rpm por volts
kb	Kilobit
MB	Mega Byte
SOC	Sistema no chip
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
USB/Ethernet	Conversor Universal Serial Bus para Ethernet
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>

GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
TX	<i>Transmition</i>
RX	<i>Receiver</i>
SO	Sistema Operacional
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>

INTRODUÇÃO

A escassez e qualidade da água são um dos pontos mais discutidos na sociedade por estarem sendo afetados pela degradação causada pelo ser humano: poluição desenfreada e seu mau uso no mundo como um todo. A utilização da água pelo homem depende da captação, do tratamento e da distribuição. Nesse contexto é importante buscar formas alternativas de captação de água para consumo, como a água de chuva (FERNANDES; NETO; MATTOS, 2007). Entretanto, a preservação de lagoas tem sido potencialmente preocupante, visto que, além de comprometida a qualidade da água, também compromete a vida subaquática - fonte de sustento para muitas pessoas. A Agência Nacional de Águas (ANA), que opera uma rede básica de qualidade de água que conta com 1.340 pontos em todo o país, em que são feitas análises alguns parâmetros básicos como pH, oxigênio dissolvido e temperatura (ANA, 2016). Esses parâmetros têm seus resultados obtidos automaticamente por meio de sondas multiparamétricas, que são postas em contato com os corpos d'água, não necessitando de coleta, transporte e análise de amostras em laboratórios. Além da ANA, o monitoramento da qualidade da água no Brasil é realizado por uma variedade de órgãos estaduais de meio ambiente e recursos hídricos, companhias de saneamento e empresas do setor elétrico (PQNA, 2011). Ainda, segundo PQNA (2011) não existem, entretanto, procedimentos padronizados de coleta, frequência de coleta e análise das informações, isto prejudica a comparação dos resultados e o compartilhamento de experiências adquiridas.

Devido a essa falta de padronização do número de pontos de coleta, esta metodologia pode ocasionar uma variabilidade significativa, a depender do número de pontos de coletas, entre os resultados calculados e os efetivamente existentes. Para contornar este problema, é importante que seja realizado um planejamento dos pontos de coleta que possam efetivamente representar a lagoa, bem como sua correta execução. As variáveis, os tipos de amostras, a frequência de amostragem e a localização de estações de coleta devem ser definidos, cuidadosamente, de acordo

com os objetivos (CEMIG, 2009). A hipótese utilizada para resolver o problema da coleta de vários pontos é um mini-barco autônomo dotado de sensores de prova para realizar a análise em pontos determinados (*waypoints*) com maior exatidão do que a coleta manual. As análises geradas pelo aerobarco promovem para a sociedade uma forma de aplicação que ajudará a avaliar e tomar decisões sobre a utilização e o uso racional das reservas de água, conscientizando e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da comunidade, bem como obter dados para pesquisa.

Nesse trabalho é proposta a construção de um barco para a medição da qualidade da água (utilizando sensores), dotado de um modelo de navegação autônoma utilizando o Sistema de Navegação Inercial (INS) e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Nesse modelo, a Unidade de Movimento Inercial (IMU) fornece a trajetória enquanto que o GPS atualiza os dados, visto que o IMU, por si só, possui frequência de medição limitada. A utilização dos dados obtidos pelo INS e GPS são processados a fim de determinar a distância das coordenadas, a sua própria posição e trajeto com suas estimativas de erros corrigidas. Dependendo da influência do vento, o barco deve navegar de forma diferente, sendo o leme posicionado para a correção do trajeto em tempo real.

Além da funcionalidade de análise da qualidade da água de forma autônoma, o presente projeto também busca conscientizar o uso e a manutenção das águas através de recursos tecnológicos sobre o estado da água, sua importância para o meio ambiente e o desenvolvimento local. Nesse trabalho, além do aparato tecnológico, os resultados das análises obtidas servem como ferramenta de educação ambiental.

Os resultados esperados são: uma vez configurados os parâmetros de *waypoints* (pontos de trajetos) no *software* supervisor, o veículo aquático deve receber as instruções de trajeto e fazer a análise, de forma autônoma, da qualidade da água a partir de amostras coletadas em diferentes pontos ao longo do trajeto. Com as amostras são avaliados parâmetros básicos para a qualidade da água como Oxigênio dissolvido (OD), Potencial de Oxirredução (ORP), pH e temperaturas da água e do ambiente. De posse desses dados são gerados vários relatórios para tomada de decisões a respeito do leito monitorado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um veículo aquático autônomo para coleta de dados e auxílio na análise da qualidade da água de reservatórios aquíferos com eficiência.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho, podem-se citar:

- Desenvolver sistema de coleta de parâmetros físico-químicos (Oxigênio Dissolvido, pH, Potencial de Oxirredução, Temperaturas da água e do ambiente) de qualidade de água;
- Construir um aerobarco para abrigar o sistema de sensoriamento;
- Desenvolver sistema de navegação autônoma baseado em GPS;
- Testar o sistema integrado em lagoas da região de Fortaleza e um açude em Pacatuba.

1.2 Justificativa

As termotolerantes ou coliformes fecais são bactérias encontradas geralmente em fezes humanas e de animais homeotérmicos; ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (CONAMA, 2005). Dessa forma as características biológicas da água estão relacionadas as termotolerantes; sua análise costuma ser demorada e cara. No entanto, existem, atualmente, equipamentos digitais que podem determinar outros parâmetros adequados para a análise e monitoramento da qualidade da água de forma rápida e fácil. Esses equipamentos portáteis medem, normalmente, o oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, turbidez, potencial de oxidorredução ou redox, sólidos totais dissolvidos, salinidade e temperatura da água.

Mesmo com a disponibilidade de testes de potabilidade da água feita através da análise de parâmetros bacteriológicos, atualmente muitos pesquisadores estão

utilizando o oxigênio dissolvido (OD), como parâmetro principal para a análise da qualidade da água. A quantidade de oxigênio dissolvido pode indicar potenciais problemas no corpo d'água dependendo de seu ecossistema; o OD juntamente com outros parâmetros medidos pelos equipamentos eletrônicos podem ser utilizados, também, para medir a balneabilidade (SILVA; PIROLI; HERNÁNDEZ, 2014).

O MPC (Manual de Procedimentos de Coleta) e MAA (Metodologias de Análise de Água) diferenciam a qualidade da água de acordo com sua utilização, ou seja, cada uso exige uma qualidade diferente em função de parâmetros preestabelecidos (Padrões de Qualidade). Dessa forma é possível estabelecer o nível tolerado de contaminantes e as atividades permitidas ou não recomendáveis para aquele corpo d'água.

Segundo a Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA) há quatro níveis¹ de danos à saúde humana no que tange ao contato com fontes de água desconhecidos. Dessa forma equipamentos de proteção são de extrema importância para o contato com amostras em ambientes contaminados, além disso, boa parte do orçamento de um programa de monitoramento ambiental trata do processo de coleta, que vai desde o planejamento prévio e detalhado: transporte, coleta *in loco*, análise laboratorial até a sua conclusão. Todos os passos devem ser coordenados e progressivos para que não haja atrasos e desperdícios, do contrário a análise sofrerá um risco de ser invalidada (MPC; MAA, 2009).

Para que o processo de análise ocorra normalmente o trabalho de campo deve ser programado previamente com o laboratório, para que o mesmo tenha noção da quantidade de amostras coletadas, bem como o tempo estimado para a chegada no laboratório e os parâmetros a serem analisados. Ainda segundo a MPC e MAA (2009) a coleta das amostras de água, biota ou sedimento deve ser feito por pessoas devidamente treinadas em técnicas de amostragem e procedimentos de campo. O frequente manuseio da amostra e seu mal condicionamento é um forte indício de erros no procedimento. Devido a certos riscos que a coleta e próprio ambiente proporciona, devido a repetitividade do procedimento; geralmente são coletadas poucas amostras, as quais são utilizadas para representar todo o corpo d'água, colocando em contestação os dados analisados.

¹Classificação dos danos à saúde humana segundo a (EPA): A: Probabilidade alta de doença desconhecida de veiculação hídrica ou de contato com materiais corrosivos; B: Possível faixa de riscos desconhecidos; C: Possíveis riscos de veiculação hídrica, que podem ser identificados; D: Baixa probabilidade de risco ou nenhum suspeito conhecido de veiculação hídrica.

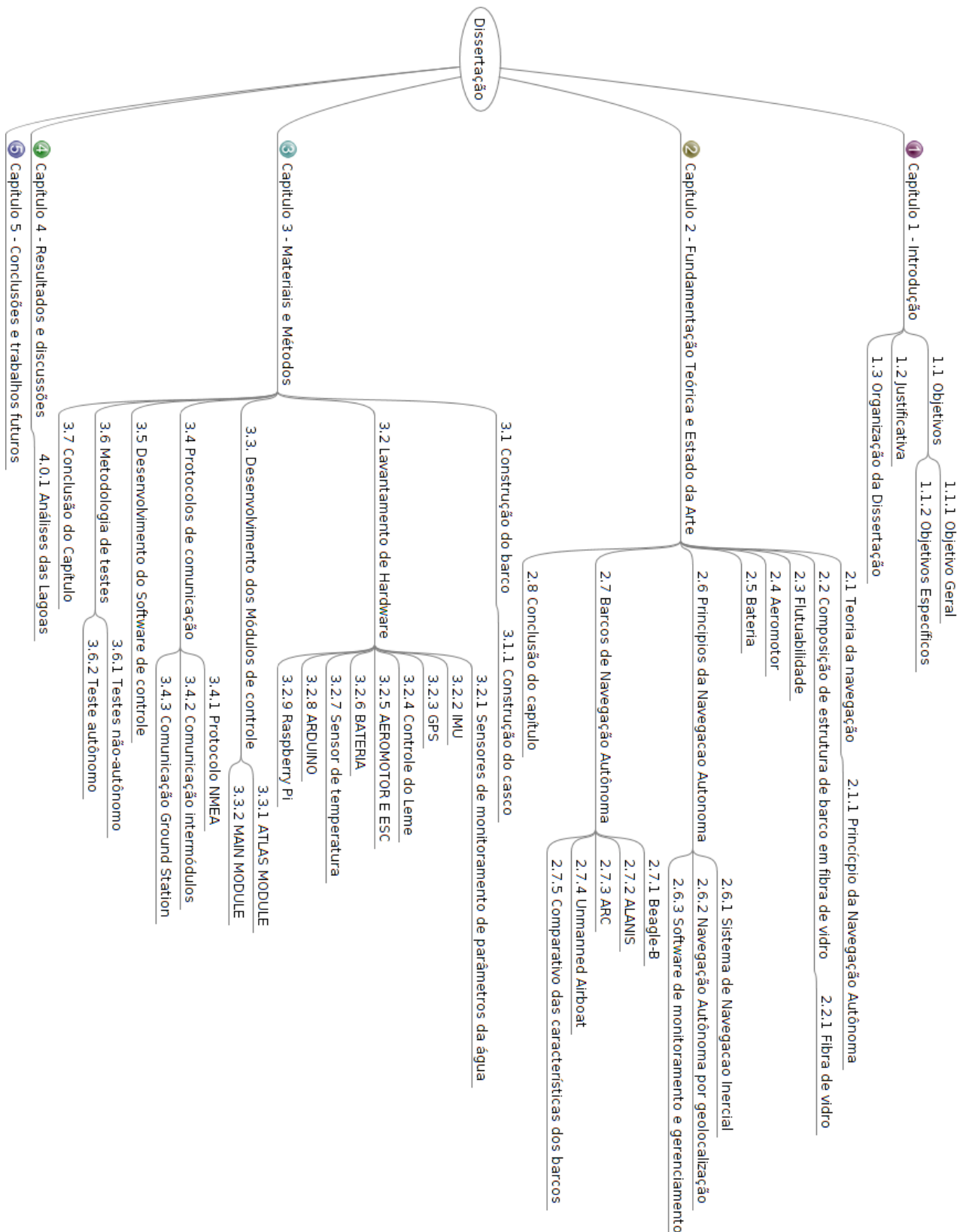
Tendo em vista tais procedimentos manuais, este trabalho propõe a necessidade de implementar um sistema automático de navegação com análise de parâmetros da água com eficiência que, além de coletar e analisar vários pontos de um aquífero, proporciona uma segurança a saúde, visto que o técnico de campo não terá contato com a água e nem irá adentrar na lagoa. Ao fim da missão os resultados das análises são gerados, em tempo real e de forma remota, relatórios gráficos, dispensando, assim, procedimentos arriscados de coleta com barcos, boias e caiaques, a logística de transporte e acondicionamento de amostras, bem como despesas laboratoriais.

1.3 Organização da Dissertação

Esse trabalho está estruturado da seguinte forma: No Capítulo 2 são apresentados a fundamentação teórica e estado da arte, descrição do que existe sobre o tema na literatura e técnicas utilizadas no trabalho de forma a evidenciar as colaborações durante o desenvolvimento do projeto. No Capítulo 3, são evidenciados os materiais e métodos dos processos de construção do barco, o funcionamento dos sensores e atuadores, bem como os módulos de controle eletrônico de todas as funcionalidades e sua arquitetura. Neste capítulo também são discutidas as etapas de desenvolvimento do projeto de software, bem como toda a descrição detalhada dos componentes adquiridos e/ou construídos ao longo do processo de fabricação do protótipo de hardware. Nesse capítulo também são evidenciados os alcances iniciais através da integração *firmware* e *hardware* com o *software* de gerenciamento. No Capítulo 4 são evidenciados os testes em campo (lagoa) do protótipo, análise de resultados, desempenho e o detalhamento dos dados obtidos. No Capítulo 5 são discutidos as conclusões sobre o desempenho do projeto bem como sugestões para trabalhos futuros, além disso, no Apêndice A são apresentadas tabelas com os resultados gerais de coletas nas lagoas. No Anexo A são descritos os parâmetros de qualidade da água, a demanda bioquímica de oxigênio e Legislação vigente. No Anexo B são apresentadas as características dos sensores *Atlas Scientific*. No Anexo C é apresentado o esquemático da placa Raspberry pi B+. Por fim, no Anexo D o esquemático da placa Arduino Mega 1280 usados neste trabalho.

Na Figura 1 tem-se o mapa de ideias da Dissertação.

Figura 1: Mapa mental da dissertação.



Fonte: Autor.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE

Neste capítulo é apresentada, a base teórica para o desenvolvimento deste trabalho sobre a construção do barco e seu funcionamento. São estudados os fundamentos da navegação autônoma. Por fim, é realizada uma revisão bibliográfica sobre os barcos autônomos e análise de suas características de funcionamento para o desenvolvimento desse trabalho.

2.1 Teoria da Navegação

Nas embarcações a vela o principal meio de propulsão é o vento, ou seja, seu combustível. O motor, nesse caso, é usado em manobras de acostagem ou quando não há correntes de vento, sendo, portanto um meio de propulsão auxiliar. Entretanto nos aerobarcos, cujo motor situa-se na popa do barco, não são dotados de velas para seu deslocamento (PSF, 2015). O leme é uma peça submersa e normalmente acoplada ao casco no painel de popa ou próximo deste e na sua posição natural está alinhado ao comprimento da embarcação, cujo objetivo é orientar a direção de um barco. Este componente é semelhante ao volante de um carro, podendo mover o barco para bombordo, se o leme for deslocado para a esquerda, ou para boreste, se for deslocado para a direita (EBOAT, 2015).

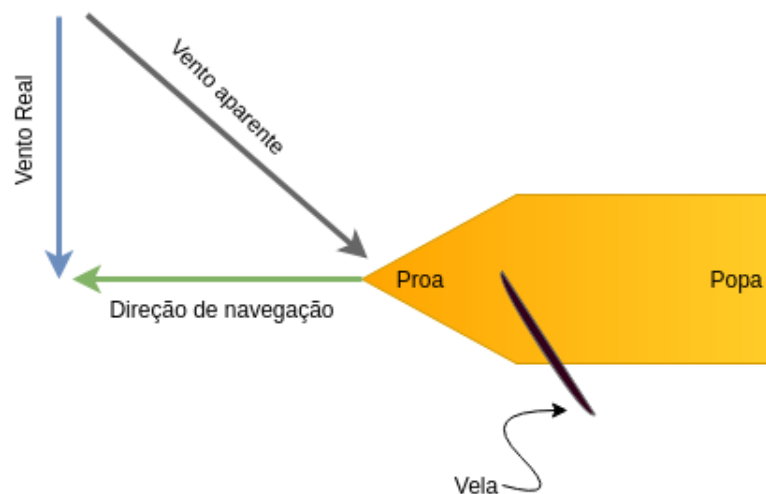
O meio onde navega uma embarcação influencia no seu deslocamento. Forças axiais externas, como as correntes de vento podem provocar uma mudança no trajeto, sendo necessário escolher uma direção de deslocamento cuja resultante seja a favor da corrente sem perder a direção de cruzeiro. Entretanto para Rodrigues (2010) a navegação baseada em comportamentos, embora se utilize uma forte ligação entre percepção e ação, para que, nesse caso, locomova-se autonomamente no meio em que atua, não há necessidade de se conhecer todas as informações do ambiente.

Para Cruz e Alves (2010), com o passar das décadas os marinheiros têm cada vez mais utilizado mecanismos para fornecer a direção automática de barcos à vela. O piloto automático tem sido um acessório valioso em veleiros modernos, permitindo o controle automático do leme de acordo com alguma referência de direção do GPS, bússola ou vento.

O manejo de um veleiro exige que se opere, num plano qualitativo, com os conceitos relativos ao equilíbrio de embarcações, a resistência hidrodinâmica, ao funcionamento da vela como uma superfície aerodinâmica (AMORIN *et al.*, 2015).

Existe ainda um elemento a considerar e que apenas aparece com o barco em movimento, mas é fundamental na navegação a vela: o vento aparente (Figura 2), que é resultante do movimento e direção de uma embarcação e da intensidade e direção do vento real, que incide nas velas (CRUZ; ALVES, 2010).

Figura 2: Vento aparente.



Fonte: Autor.

2.2 Composição de barco em fibra de vidro

A embarcação de fibra de vidro ou plástico possui como características a leveza, o baixo calado devido ao peso reduzido do material, facilidade no transporte (possui dimensões reduzidas), menor preço e facilidade ao trabalhar com o material (FAZANELLI, 2008).

2.2.1 Fibra de vidro

A história das fibras de vidro começou em 1836, quando foi patenteado na Europa um método de tecer vidro maleável. Em 1839 foi apresentada pela primeira vez em uma exposição industrial, e por volta de 1840 começou a ser comercializada. Na época o material não resistiu à competitividade de outros produtos industrializados. Levou praticamente um século até que ressurgisse para utilização em isolamento de cabos e condutores elétricos. A partir de 1940 o desenvolvimento das resinas sintéticas promoveu uma ampla utilização para esse tipo de fibra e suas aplicações abriram uma grande variedade de mercados (NASSEH, 2015).

Este tipo de material é composto por finos filamentos de vidro (Figura 3), que se agregam por meio de aplicações de resinas, silicones, fenóis e outros compostos solúveis em solventes orgânicos. Ela também recebe outra substância catalisadora que pode conter óxidos de potássio, ferro, cálcio e alumínio (SOARES *et al.*, 2007).

Figura 3: Manta de fibra de vidro.



Fonte: ACPSALES (2016).

As fibras de vidro são amplamente empregadas por serem materiais amorfos, possuindo como principais características baixo coeficiente de expansão térmica, facilidade de processamento e baixo custo (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994).

A fibra de vidro é utilizada para fabricar móveis, telhas, capacetes, pranchas, barcos, carrocerias de automóveis, objetos de decoração, revestimentos, aeromodelos, entre outras muitas utilizações. Em muitos casos é insubstituível, seja por questões econômicas, pela facilidade de execução ou por suas características como material de engenharia (REIS, 2008).

A propriedade de reforço do compósito varia de acordo a percentagem volumétrica de fibra de vidro utilizada conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades da resina de epóxico não reforçada e reforçada com fibra de vidro.

	Não reforçada	20% (vol.)	30% (vol.)	40% (vol.)
Densidade	1,20	1,35	1,43	1,52
Tensão de Limite elástico(MPa)	60,00	110,00	131,00	11,60
Módulo de elasticidade(GPa)	2,25	5,93	8,62	11,60
Deformação após rotura(%)	100,00	5,00	4,00	4,00

Fonte: Calister, JR. and William, D. (2002).

A mistura de um reforço (fibra de vidro) a uma matriz polimérica (resina poliéster ou outro tipo de resina) e a uma substância catalisadora de polimerização forma um compósito denominado Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), cuja técnica permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos: piscinas, caixas d'água, cascos e hélices de barcos, carrocerias de veículos e outras. Porém, no processo de fabricação de compósitos, são geradas grandes quantidades de rejeitos ou sobras, prejudicando o meio ambiente (ORTH; BALDIN; ZANOTELLI, 2012).

Segundo Allmendinger (1990) existem cascos das mais variadas formas, modelos e tamanhos, projetados de acordo com as particularidades de cada missão. Apesar da grande diversidade de cascos existentes, todos eles respeitam alguns critérios de construção, entre eles estão:

- Pressão e profundidade máximas;
- Faixa de temperatura de operação;
- Resistência mecânica a impactos;
- Permeabilidade à água;
- Apelo visual;
- Acessibilidade para intervenções;
- Versatilidade;
- Praticidade;
- Restrições para futuras expansões;
- Tamanho;

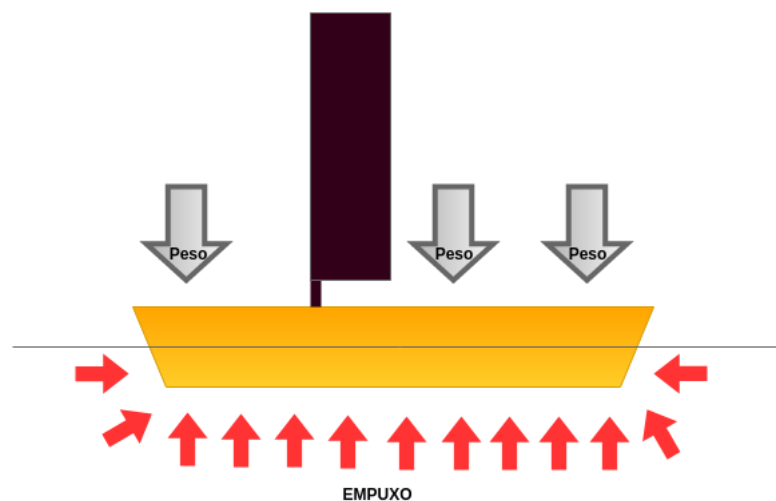
- Peso;
- Resistência a corrosão e a produtos químicos.

Além das características citadas anteriormente, a hidrodinâmica é outra importante característica exigida na construção. Na prática, isso significa que o projeto do casco deve levar em consideração a redução dos efeitos das forças de arraste. Projetos bem sucedidos de hidrodinâmica reduzem o consumo de energia e favorecem a estabilidade durante a navegação (MENEZES, 2014).

2.3 Flutuabilidade

De acordo com PSF (2015) o casco de um barco flutua porque é oco e sua densidade média (parte de madeira e a parte cheia de ar) é menor que a densidade da água, além disso, o casco encontra-se em equilíbrio, parcialmente imerso e sujeito a ação de duas forças de mesmo módulo e contrárias: o peso (P) e o empuxo (E), exercido pela água conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Flutuabilidade do casco.



Fonte: Autor.

Em repouso, o peso da água acima de um volume cúbico de água, necessariamente estará contrabalançado pela pressão interna neste cubo. Para um cubo cujo volume tende para zero, ou seja um ponto P, esta pressão é dada por:

$$P = \rho gh$$

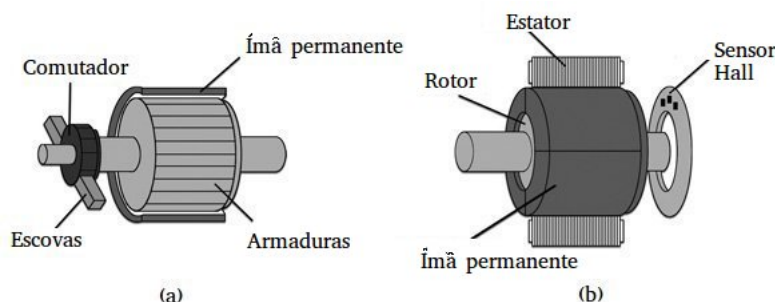
em que, usando unidades no sistema SI, P é a pressão (em pascais, Pa), ρ é a massa específica da água (em kilogramas por metro cúbico, kg/m^3), g é a aceleração da gravidade (em metros por segundo quadrado, m/s^2), h é a altura do líquido por cima do ponto (em metros, m).

2.4 Aeromotor

Assim como a vela auxilia na propulsão dos veleiros usando o vento, o Aeromotor proporciona, também, um movimento com o uso da energia elétrica e motor apropriado. Segundo Mayer e Wasynczuk (1989), os motores sem escova (*Brushless*) são recomendados devido a sua robustez, baixa manutenção, vida útil prolongada, ausência de poeira de carbono proveniente das tradicionais escovas, tamanho reduzido, alta eficiência e a eliminação de faíscas e arcos elétricos devido à comutação que é realizada eletronicamente. Contudo o seu custo de aquisição é maior e o seu controle é caro e complexo. A presença de escovas é um fator limitador da confiabilidade, rendimento e de vida útil se comparado a motores sem a presença de escovas.

Os motores sem escova (*brushless*) se assemelham aos motores com escova (*brushed*), porém o *brushless* não possui partes mecânicas que interligam o rotor e estator para a passagem de eletricidade. Além disso, este tipo de motor possui um ímã permanente na estrutura externa, cujo rotor gira em seu eixo (FOUR *et al.*, 2007). São considerados motores síncronos pois os ímãs permanentes polarizados estão atrelados ao rotor e este não necessita de qualquer alimentação (TRINDADE, 2009). Na Figura 5 tem-se a disposição dos motores *brushed* (a) e *brushless* (b).

Figura 5: Motor *Brushed* e Motor *Brushless*



Fonte: Adaptado de ISCCOMPANIES (2016).

2.5 Bateria

Para pequenas embarcações autônomas a bateria é uma das principais partes, pois fornece energia para todos os componentes eletrônicos. Baterias recarregáveis proporcionam uma maior tempo de operação do sistema embarcado (SCHULTZE, 2012).

Devido à sua composição química, as baterias de zinco e de prata tiveram uma grande importância durante a década de 40, oferecendo bom desempenho em picos de potência apesar de baixos ciclos de recargas. Entretanto, as baterias de íons de lítio, desenvolvidas mais recentemente, são um dos modelos mais usados na atualidade por possuírem um desempenho de vários ciclos de recarga melhor que sua antecessora (WINCHESTER *et al.*, 2002).

Apesar dos modelos de íons de lítio serem bastante utilizados, um estudo da utilização de baterias de chumbo ácido na alimentação dos motores elétricos, abordando autonomia e consumo é proposto em um artigo por (WOOD; REES; PFEIFFER, 2007) .

2.6 Princípio da Navegação Autônoma

Atualmente os robôs móveis autônomos estão mais difundidos, pois estes são dotados de algoritmos complexos para tomar decisões sem necessitarem de ajuda contínua do ser humano (HOLANDA *et al.*, 2010). De acordo com a localização, o robô é capaz de gerar um mapa do ambiente que atua, comparar sua posição atual com uma posição global no mapa gerado e, a partir disso, ter a capacidade de navegar utilizando o referido mapa configurado na missão. Essa tarefa é realizada pelo seu sistema de navegação, pois esse último informa qual trajetória o sistema de controle de movimento deve desempenhar (SIEGWART; NOURBAKHS, 2004).

Um robô que é controlado por um sistema computacional, possui dispositivos de *hardware* que são capazes de perceber e agir sobre o ambiente. Neste sistema computacional algumas estruturas de *software* são responsáveis pela interpretação de como se comportar frente a este ambiente (ALVAREZ *et al.*, 2001). Um robô móvel pode modificar sua localização por meio de locomoção, tendo assim maiores possibilidades de interação com o meio físico (NEHMZOW, 2003).

A importância do monitoramento de ambientes marinhos por meio de robôs autônomos é uma solução promissora se utilizados com energias solar ou eólica renovável, pois oferecem pesquisas detalhadas presencial e semi persistente nos reservatórios de água (PÊTRÈS; ROMERO-RAMIREZ, 2012).

De acordo com Pereira (2003), determinados aspectos devem estar presentes para endossar a utilização dos veículos autônomos (VA) para monitoramento de ambientes, entre esses estão:

- Hostilidade do ambiente - torna-se inviável ou impossível a presença segura de um operador;
- Viabilidade econômica - redução dos custos ao remover a participação do operador;
- Aperfeiçoamento técnico - a permanência do operador nas atividades não garante resultados satisfatórios, necessitando a intervenção de funcionalidades autônomas.

2.6.1 Sistema de Navegação Inercial

Um sistema de navegação inercial é composto de uma unidade de medida inercial (IMU), que é composta por um arranjo de acelerômetros, giroscópios e um processador de informações.

Segundo Figueiredo e Gafaniz (2007), o acelerômetro é um instrumento que mede a aceleração baseados em leis da Física. Tais medições podem ser efetuadas em uma, duas ou três dimensões.

Os sensores inerciais (INS) são sensores que medem aceleração e velocidade angular. Podem ser usados para medição da posição pela combinação dos acelerômetros, giroscópios e magnetômetros (STUTTERS *et al.*, 2008). Para Yazdi, Ayazi e Najafi (1998) os giroscópios e acelerômetros, apresentam vantagens em relação ao peso, dimensão, resistência ao impacto, consumo de energia e custo reduzido, pois podem ser fabricados em grande escala.

Porém os ruídos de sinais sofridos pelos giroscópios e o erro sistemático dos acelerômetros causam degradação na solução de navegação (TITTERTON; WESTON, 2004).

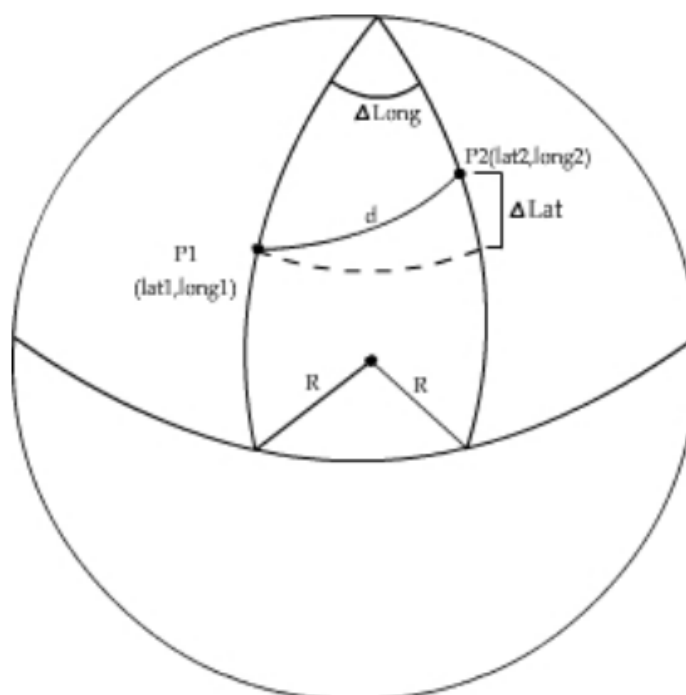
Técnicas estocásticas são tradicionalmente utilizadas para estimar, compensar e limitar os erros dos sensores inerciais e para integrar o sistema GPS/INS, sendo o filtro de *Kalman* o método mais utilizado na integração entre GPS, sensores inerciais da IMU e o INS (FARREL; BARTH, 1998). Um maior detalhamento da teoria sobre o filtro de *Kalman* pode ser encontrado em Neto e Hemerly (2007) e (GELB, 1974).

2.6.2 Navegação Autônoma por geolocalização

Um barco para navegar de forma autônoma com GPS, além de toda a eletrônica e mecânica, precisa ter uma percepção de localização, ou seja, a distância entre os pontos que deseja navegar, bem como o ângulo de rolamento entre eles. Uma das formas de se calcular a distância e o ângulo de rolamento é utilizando a Lei de *Haversine*, que se baseia em formulas trigonométricas usadas na navegação no passado (BAGGIO, 2011).

Para Sinnot (1984), a esfera terrestre de raio R (6371 km), tem a distância representada por dois pontos dados em coordenadas esféricas (latitude, longitude) desprovidas de obstáculos, com $P_1(lat_1, long_1)$ e $P_2(lat_2, long_2)$. Na Figura 6 é mostrada essa distância na esfera terrestre.

Figura 6: Distância entre dois pontos na Esfera Terrestre.



Fonte: Baggio (2011).

2.6.3 Software de monitoramento e gerenciamento

As variáveis ambientais podem ser monitoradas e gerenciadas em tempo real por sistemas que disponibilizam na rede as suas mudanças (*online*) ou apenas registarem em seus bancos de dados (*offline*). O sistema escolhido depende do tipo de aplicação e controle. O sistema de monitoramento é um conjunto de componentes que executam uma atividade de medição de diversas grandezas. Os sensores utilizados em sistemas de monitoramento geralmente funcionam com saídas contínuas onde a informação apresentada varia continuamente no decorrer do tempo. As medições dos sistemas analógicos podem ser sinais elétricos ou sinais de grandezas físicas convertidos para sinais elétricos (KLEMPOUS; LYSAKOWSKA; NIKODEM, 1999).

Alguns sites como (THINGSPEAK, 2017) disponibilizam acesso em sua página para o *upload*¹ de dados para posterior monitoramento em tempo real de diversas variáveis tais como temperatura, umidade, *status* de dispositivos eletrônicos, dentre outras.

Sistemas de monitoramento em tempo real possibilitam a detecção de falhas com maior agilidade, além da possibilidade da verificação dos parâmetros que estão sendo monitorados em intervalos de tempo pré-definidos. Ribeiro *et al.* (2015) descrevem um sistema de monitoramento e controle de um processo de distribuição de água, usando Arduino e protocolo GSM. Esse sistema possui uma facilidade na implementação devido ser feito numa plataforma de *hardware* e *software* livres, além da utilização de componentes de fácil aquisição como sensores de temperatura, corrente e um modem GSM.

Programas de computadores (*softwares*) de licença *open source* e *freeware* são bastantes utilizados como sistemas supervisórios devido a sua gratuidade de uso. Esses *softwares* dão suporte para informações recebidas dos módulos de aquisição de dados que podem ser exibidas em páginas *Web* por meio de servidores. Na plataforma *Web* é possível acessar o sistema via *Internet* para coleta, gerenciamento e análise de dados, onde será capaz de produzir indicadores e gráficos para os usuários (LIMA; CORDEIRO; SOUZA, 2012).

¹Upload: enviar uma informação, ou um arquivo para um computador remoto (geralmente um servidor).

2.7 Barcos de Navegação Autônoma

Nas últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico na área naval favoreceu estudos científicos para aperfeiçoar a exploração dos oceanos. A partir desse progresso, veículos de superfície, os *Autonomous Surface Vehicle* (ASV), têm surgido em várias partes do mundo nas mais diversas atividades, tais como: vigilância em águas abrigadas ou em mar aberto, recolhimento de amostras e objetos em situações de catástrofes (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Nesta seção é realizada uma abordagem sobre alguns barcos existentes movidos autonomamente.

2.7.1 *Beagle-B*

Para Sauzé e Neal (2008) o *Beagle-B* foi construído no final de 2006 pela empresa francesa *Robosoft*. Seu comprimento equivale 3,5 m com 3 m de vela sólida. O objetivo da embarcação é fornecer dados oceanográficos em missões de longo período. Sua alimentação é fornecida por dois painéis solares de 15 W e quatro baterias de chumbo-ácido de 12 V e 60 Ah, que permitem uma operação de longos períodos graças aos painéis solares que as mantém carregadas.

O *Beagle-B* é dotado de uma sonda YSI 660 que coleta dados oceanográficos, um transceptor e modem GSM (*Global System for Mobile Communications*) *Iridium SBD* para transmissão de dados remota. O *Beagle-B* participou do Desafio *Microtransat 2007*, no qual, navegou um total de 25 km ao longo de 19 horas. O *Beagle-B* é mostrado na Figura 7.

Figura 7: *Beagle-B*.



Fonte: Aberystwyth (2008).

Todo o sistema é controlado por um único computador de bordo *Gumstix*, do tamanho de um cartão de crédito, rodando o sistema operacional Linux; isso fornece a maior parte das funções de um computador comum e utiliza menos de 1 W de potência. O barco é dotado de um sensor de direção de vento, GPS e bússola para compensar a inclinação e fornecer ao *Gumstix* informações sobre como o barco está navegando, permitindo decidir qual a posição colocar o leme e navegar (ABERYSTWYTH, 2008).

2.7.2 ALANIS

O *Aluminum Autonomous Navigator for Intelligent Sampling* (ALANIS) é um veículo não tripulado de superfície para monitoramento dos oceanos. Esta embarcação é utilizada para monitoramento de costas e oceanos, entretanto há problemas de comunicação de baixa largura de banda de rádio-modems UHF e falta de sistemas para detecção de obstáculos (CACCIA *et al.*, 2009). A necessidade e aspectos legais de detecção de obstáculos também são discutidos em (NEAL, 2006).

O ALANIS, mostrado na Figura 8, está equipado com uma placa computadorizada *Hercules 2* (*Pentium III a 800 MHz*) e um Módulo PC / 104 *Emerald EMM-8P-XT* com 8 portas seriais para I/O. Uma outra placa PC-104 *onboard* é dedicada à telemetria. Todos os componentes eletrônicos são montados dentro de uma caixa de alumínio de 19 polegadas antivibração IP65 INCAS (CACCIA *et al.*, 2009).

Figura 8: ALANIS.



Fonte: Caccia *et al.* (2009).

2.7.3 ARC

O ARC possui 1,5 m de comprimento, duas velas controladas de forma independentes e dois lemes controlados por um único atuador. É equipado com uma bússola, receptor GPS e uma combinação de um microcontrolador Atmega128 e uma placa Gumstix5 rodando Linux. A fonte de energia é composta por um banco de 20 baterias recarregáveis de 1,2 V do tipo AA, com uma capacidade de 2500 mAh cada (SAUZÉ; NEAL, 2008).

Ainda segundo Sauzé e Neal (2008) o casco é construído a partir de madeira compensada e é significativamente mais amplo tornando-se muito estável, porém muito lento. Seu conjunto de velas e lemes permitem que o barco possa velejar em uma linha reta com pouco ou nenhuma correção no leme. Estes também oferecem redundância adicional caso um dos motores falhe.

O ARC (Figura 9) é usado principalmente na investigação de estratégias de sobrevivência autônomas e longevidade em robôs autônomos, pois é equipado com uma série de sensores internos que monitoram o estado do robô que lhe permite tomar decisões sensatas para mantê-lo funcionando por mais tempo. A pesquisa está com foco em abordagens de inspiração biológica na tentativa de imitar alguns dos mecanismos que dão sistemas biológicos sua robustez e habilidades (ABERYSTWYTH, 2008).

Figura 9: ARC.



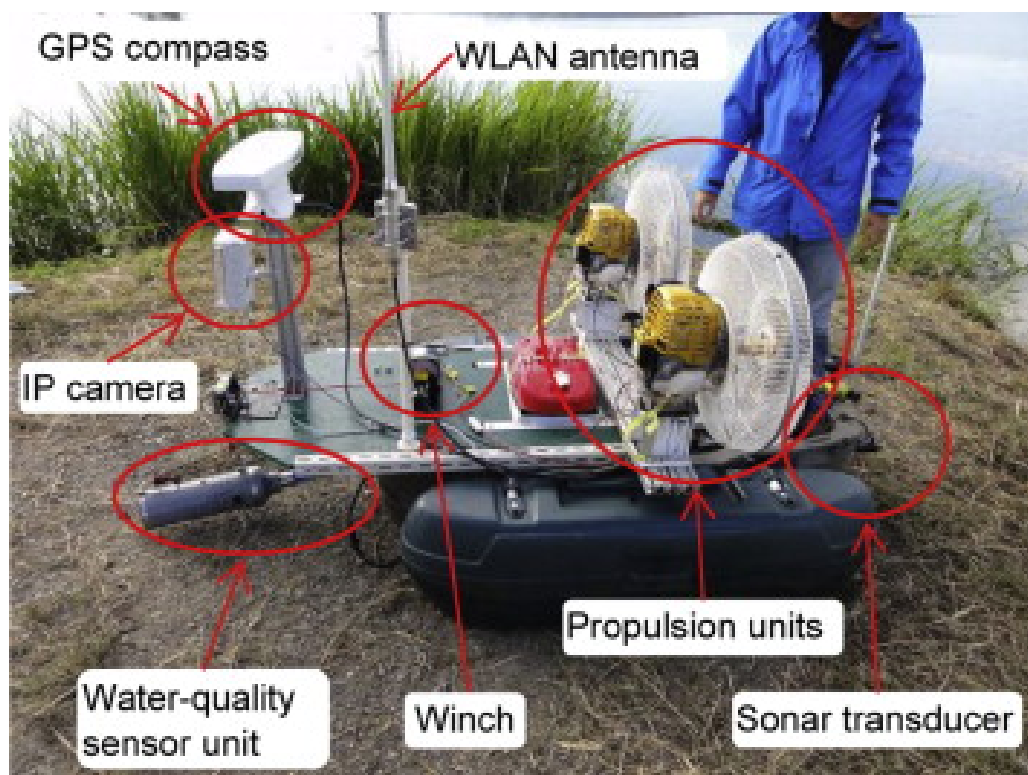
Fonte: Aberystwyth (2008).

2.7.4 Unmanned Airboat

A plataforma de barco não tripulado *Unmanned airboat* foi desenvolvida para coletar e analisar a água ao longo de um padrão de grade. Seu casco principal é uma plataforma de um barco flutuador. Este barco de pesca possui dois cascos de cada lado, e suporta uma carga de 150 kg. O barco foi equipado com dois motores de quatro tempos a gasolina. A saída de potência máxima de cada motor é em torno de 1,2 kW e a velocidade máxima de rotação de saída era de 7000 rpm. Para controlar a velocidade de rotação dos motores, os reguladores de pressão foram conectados a servo motores controlados por rádio.

O barco é dotado de uma unidade de sensor da qualidade da água (pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade Elétrica, Turbidez, Temperatura, Profundidade, Concentração de NO_3 clorofila) conforme mostrado na Figura 10. Uma câmera IP (*Internet Protocol*) foi utilizada para observar os arredores do barco a partir da costa, utilizando rede sem fio (WLAN) e antena não-direcional (KAIZU *et al.*, 2011).

Figura 10: *Unmanned airboat*.



Fonte: Kaizu *et al.* (2011).

2.7.5 Comparativo das características dos barcos

Dentre os barcos autônomos apresentados neste trabalho, somente o ARC é movido por propulsão a vento, os quais só possuem vela sólida o *Beagle-B* e ARC. Os barcos movidos a propulsão elétrica são o *Beagle-B*, ALANIS, ARC e *Unmanned airboat*, mas somente o *Beagle-B* possui um painel solar para recarregar as baterias. Os modelos ALANIS e *Unmanned airboat* também usam combustível para a navegação e ambos utilizam comunicação WIFI. Os modelos que utilizam a comunicação via rádio-modem/ GSM são o *Beagle-B* e ALANIS.

Somente o *Unmanned airboat* possui uma câmera IP para a navegação e realiza medições de pH (Potencial Hidrogeniônico), OD (Oxigênio Dissolvido), CE (Condutividade Elétrica), Turbidez, Temperatura, profundidade e concentração de NO₃ clorofila. Todos os modelos utilizam IMU, GPS e Bateria. Para o sensoramento da direção do vento somente o *Unmanned airboat* não possui.

O modelo *Unmanned airboat* se destaca dentre os outros veículos aquáticos autônomos. A embarcação tem sensoramento da qualidade da água, semelhante ao desenvolvido neste trabalho. Entretanto seu método de trajeto se baseia em *path* (caminhos) de tamanhos fixos pré-definidos não havendo preocupação em possíveis obstáculos ou bancos de areia, que podem ser identificados em mapas gerados por satélites. Na Tabela 2 têm-se todos os barcos autônomos apresentados neste trabalho comparando suas características e funcionalidades.

Tabela 2: Tabela comparativa das características dos barcos.

Barco autônomo	<i>Beagle-B</i>	ALANIS	ARC	<i>Unmanned airboat</i>
Propulsão elétrica	x	x		x
Propulsão a vento			x	
Comunicação WIFI		x		x
Comunicação Rádio-Modem	x	x		
Câmera IP (<i>Internet Protocol</i>)				x
Medição de pH				x
Medição de OD				x
Medição de CE				x
Medição de turbidez				x
Medição de temperatura				x
Medição de profundidade				x
Medição de concentração de NO ₃				x
GPS	x	x	x	x
IMU	x	x	x	x
Painel Solar	x			
Baterias	x	x	x	x
Combustível		x		x
Vela sólida	x		x	
Sensor de direção de vento	x	x	x	

Fonte: Autor.

2.7.6 Outros projetos

Outros projetos encontrados foram a BHoIA (Boia Holonômica para Investigação Ambiental) desenvolvido no IFCE campus Camocim e o Iracema (Instrumentos Robóticos Autônomos para Coleta e Monitoramento Ambiental) desenvolvido pelo CTI Renato Archer. O BHoIA é uma plataforma robótica flutuante com movimentação holonômica, ou seja, que se movimenta para todos os lados sem precisar girar em seu próprio eixo. A BHoIA possui sistemas eletroeletrônicos de baixo custo para monitoramento da qualidade de águas em tempo real. O projeto Iracema possui capacidade para execução de sensoriamento científico, coleta de amostras e monitoramento de reservas ambientais que possibilita fazer o monitoramento da qualidade das águas do Ceará, tanto do mar quanto rios, açudes e lagoas (CTI, 2017)

2.8 Conclusão do capítulo

Neste capítulo realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o princípio da navegação de embarcações a vela, sua estrutura física e componente propulsor (aeromotor) além da vela e fonte de alimentação (bateria). Foi feita uma abordagem dos princípios de funcionamento da navegação autônoma, destacando os sistemas inerciais, sensores físico-químicos e a integração de seus componentes com o GPS e, por fim, foi realizado um estudo de características de alguns veículos aquáticos autônomos comparando suas funcionalidades. No próximo capítulo, a metodologia utilizada para construção do Aerobarco, o desenvolvimento dos módulos de controle, a integração com sensores e atuadores são apresentadas nessa dissertação.

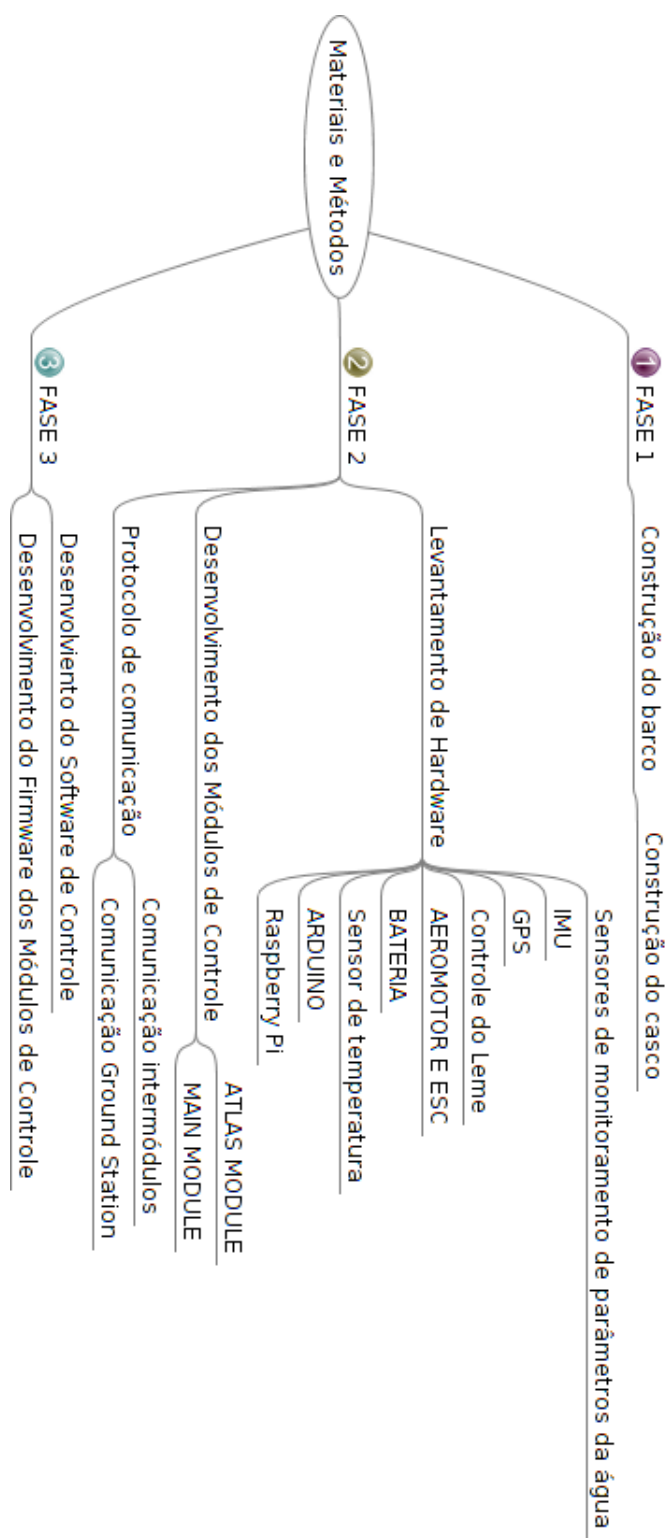
MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as três etapas do trabalho: na primeira etapa foi realizada a construção do casco do barco utilizando uma estrutura de papelão rígido com estruturas feitas de cantoneiras de alumínio, em seguida toda a estrutura foi laminada com manta de fibra de vidro e resina *epoxy*. Após a estrutura curada foram feitos acabamentos com massa plástica para veículos e em seguida pintado com tinta automotiva. Foram feitos testes de verificação de fluabilidade em uma piscina para averiguar possíveis infiltrações.

Na segunda etapa foi levantada a relação dos sensores para a coleta de informações sobre os parâmetros físico-químicos da água, bem como a relação de atuadores para controle do motor e leme. Nessa etapa também foram desenvolvidos os módulos de sensores (ATLAS MODULE), cuja função é medir os parâmetros da água e enviá-los ao módulo controlador principal (MAIN MODULE), que tem como função gerenciar o funcionamento de todos os dispositivos do barco, computar as informações do GPS e processar a rota definida para a missão enviando comandos para controlar a posição do leme em tempo real. Também foi desenvolvido o protocolo de comunicação para a leitura dos dados do ATLAS MODULE.

Na terceira etapa foi desenvolvido o *software* de gerenciamento e controle do barco com interface WEB para o operador do barco, permitindo a configuração de rotas e geração de relatórios. Nessa etapa também foi desenvolvido o *firmware* para as placas dos módulos de controle (ATLAS MODULE e MAIN MODULE). Os esquemas de ligação dos componentes foram desenhados no programa *Fritzing electronics made easy* Versão 0.9.3 (FRITZING, 2016). Na Figura 11 é mostrado o mapa de ideias da metodologia utilizada no trabalho.

Figura 11: Mapa de ideias para a metodologia utilizada no trabalho.



Fonte: Autor.

3.1 Construção do barco

Nesta etapa do projeto é desenvolvido o casco do barco e executados testes de flutuabilidade. O trabalho consiste na fabricação de uma estrutura de alumínio que é preenchida com papelão rígidos e logo após a laminação em fibra de vidro também são apresentados nesta seção.

3.1.1 Construção do casco

Antes da construção do casco foram estudados alguns modelos (hidroplanos, catamarã, trimarã e *winecup*), pois o casco deve abrigar todos os componentes, além de possuir uma resistência e flutuabilidade. O casco escolhido foi o modelo *winecup*, pois tem um espaço interno para abrigar todos os componentes eletrônicos. Para isso foi projetado uma estrutura base de alumínio de 1,10 m de comprimento e 0,33 m de largura na popa e decrescendo sua largura a medida em que se aproxima da proa. Para recobrir a estrutura de alumínio foi usado papelão de alta densidade para melhor design de formato. Na Figura 12 tem-se a estrutura do barco em alumínio revestido de papelão rígido.

Figura 12: Estrutura do Barco em papelão.



Fonte: Autor.

Entretanto como o papelão é um material hidrófilo, de fácil deterioração, foi utilizado um revestimento com resina *epoxy* e fibra de vidro para proporcionar uma rigidez e proteger a estrutura de possíveis colisões em obstáculos durante a navegação (missão). A manta de fibra de vidro foi dimensionada de acordo com o volume total do casco do barco. Cada processo de laminação com resina ortoftálica (*epoxy*) dura, aproximadamente, 15 minutos de trabalho após sua mistura com o catalisador. Na Figura 13 é mostrada uma das etapas do processo de laminação. Nesse processo foram adicionadas 2 camadas de manta de fibra de vidro.

Figura 13: Laminação do Barco em fibra de Vidro.



Fonte: Autor.

Após o processo de laminação, foi adicionada uma camada de massa plástica para corrigir as imperfeições, em seguida foi lixado toda a sua superfície e aplicada tinta automotiva. O resultado final da estrutura do casco do barco é mostrado na Figura 14.

Figura 14: Estrutura do Barco em fibra de Vidro.

Fonte: Autor.

3.2 Levantamento de *Hardware*

Nessa seção são listados os componentes eletro-eletrônicos que compõem o barco, bem como a descrição de suas funções.

3.2.1 Sensores de monitoramento de parâmetros da água

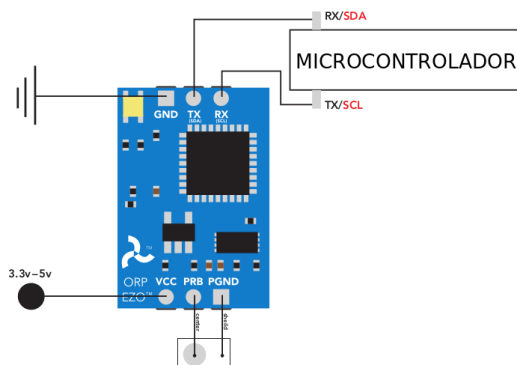
Para o monitoramento e coleta de parâmetros físico-químicos da água (pH, Oxigênio Dissolvido, Potencial de Oxirredução), foi realizada a aquisição de sensores e sondas. Eles são responsáveis por analisar seu respectivo parâmetro, transformar em informação digital e enviar para o microcontrolador em um intervalo de tempo pré-definido. Uma vez coletados os dados de todos os sensores é formatado um protocolo e enviado para o MAIN MODULE através da porta USB (*Universal Serial Bus*). Dos kits analisados foi escolhido o *Atlas Scientific EZO TM Class Circuit* (ATLAS-SCIENTIFIC, 2016), por ter um preço acessível em comparação com os demais e estabilidade na leitura de sensores. Na Figura 15 é possível visualizar a linha do kit adquirido, bem como suas soluções para calibração. No Anexo B têm-se as características elétricas de cada sensor.

Figura 15: Atlas Scientific kit.

Fonte: Atlas-Scientific (2016).

Calibração dos sensores

Para que os sensores pudessem efetuar as leituras de forma correta, foram feitas calibrações de cada módulo (Sensor e Sonda) conforme instruções de cada *datasheet*. Para isso foi usado uma placa Arduino Nano, onde cada sensor foi conectado devidamente a porta virtual Rs232 (Figura 16) e o mesmo conectado a porta USB de um notebook. Além disso foi utilizado um sensor de temperatura (DS18B20) para efetuar a medição da temperatura no momento da calibração. Dessa forma a sonda era colocada embebida em sua respectiva solução e através de comandos via terminal serial eram ajustados o valor da temperatura da solução e os valores de leitura ou faixa de leituras no caso de mais de uma solução de calibração.

Figura 16: Conexão do sensor ao microcontrolador para operação e calibração.

Fonte: Adaptado de Atlas-Scientific (2016)

3.2.2 IMU

A Unidade de Medição Inercial (IMU) é um circuito eletrônico que mede as forças sofridas por um corpo a ele ligado, como velocidade angular, aceleração e o campo magnético usando uma combinação de acelerômetros, giroscópios e magnetômetros. São amplamente usados em aeronaves, *drones*, mísseis de cruzeiro (UAV) e embarcações não tripuladas (USV). Neste projeto o IMU será utilizado juntamente com o GPS para determinar a localização, deslocamento e direção para a navegação estimada autônoma. Foram pesquisados alguns modelos de IMU, como MPU6050, MPU9150 e foi escolhido o módulo GY87 por ter algumas características semelhantes aos anteriores, além de custo inferior. Na Tabela 3 tem-se as características de funcionamento do módulo GY-87.

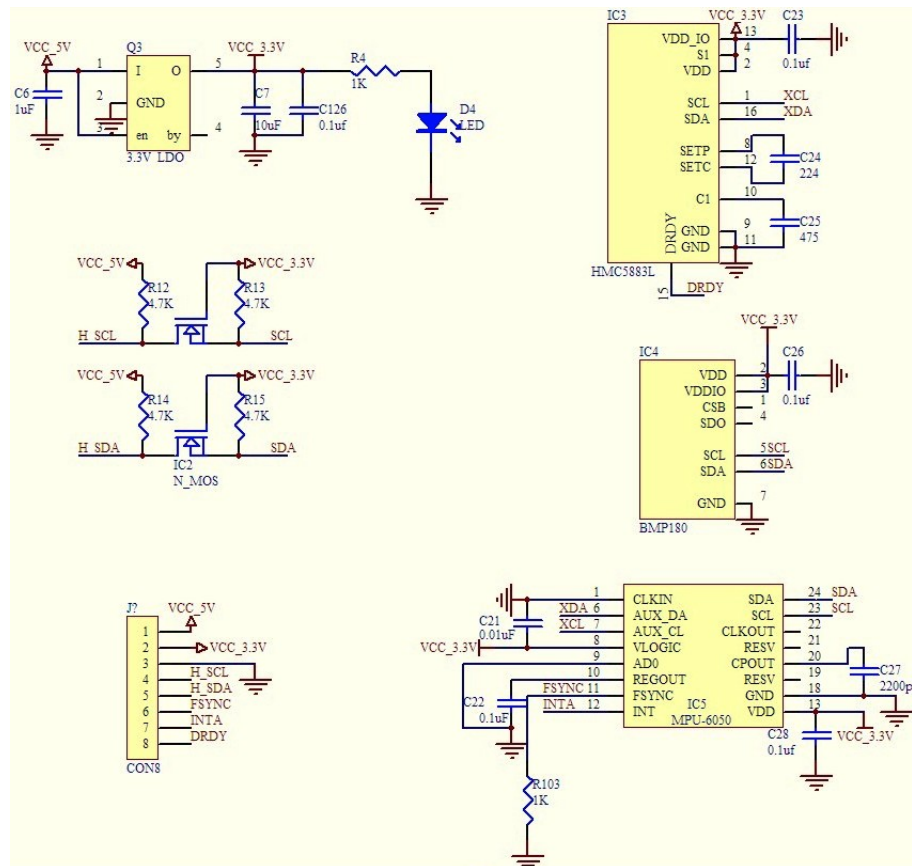
Tabela 3: Características do GY-87

Características	Verificação da orientação e as forças gravitacionais
Acelerômetro e Giroscópio	Triaxial MPU-6050 em um único Circuito Integrado
Magnetômetro	Triaxial HMC5883L
Barômetro	BMP180 (com sensor de pressão e temperatura)
Protocolo de comunicação	I2C
Faixa do giroscópio	250, 500, 1000, 2000 graus/s
Faixa do Acelerômetro	-/+2, -/+4, -/+8, -/+16 g
Faixa de medição de pressão	300 a 1100 hPa
Faixa de medição de temperatura	0 a 65 °C
Tensão de operação	3,3 a 5 V (regulador <i>onboard</i>)
Dimensões (CxLxE)	22x17x2,5 mm
Peso	1,5 g

Fonte: Adaptado de Alldatasheet (2016).

Na Figura 17 tem-se o esquemático de conexão do CI (Circuitos Integrado) e outros dispositivos que compõem o módulo GY-87.

Figura 17: Esquemático do módulo GY-87.



Fonte: Alldatasheet (2016)

No módulo GY-87 são utilizados os pinos de alimentação 1 (5 V) e 3 (GND), os pinos de dados do protocolo I2C 4 e 5 (SCL e SDA, respectivamente) e o pino de interrupção 7, que sinaliza o fim da aquisições de medidas ao microcontrolador. A placa de circuito do módulo GY-87 é mostrada na Figura 18.

Figura 18: Módulo GY-87.



Fonte: Electronicoscaldas (2017)

3.2.3 GPS

O GPS é um sistema de posicionamento por satélite que fornece a Latitude e Longitude, bem como outras informações como velocidade, data, hora e altitude em qualquer ponto na Terra. O GPS é utilizado na aviação e na navegação marítima e, atualmente, é utilizado por pessoas que praticam algum esporte radicais em lugares longínquos e de difícil acesso ou até para transporte urbano (MARQUES, 2011). Para coleta desses dados será utilizado o módulo *GlobalSat* BU-353S4 USB. Na Figura 19 é exibido o módulo GPS usado nesse trabalho.

Figura 19: Módulo GPS *GlobalSat* BU-353S4 USB.



Fonte: GlobalSat (2017)

Na Tabela 4 tem-se as características de funcionamento do Módulo GPS *GlobalSat* BU-353S4 USB.

Tabela 4: Características do módulo GPS *GlobalSat* BU-353S4 USB.

Modelo	BU-353S4
Tensão de alimentação	4,5 - 5,5 V
Interface de comunicação	USB 2.0
Precisão	< 2,5m
Taxa de atualização	1Hz
Protocolo	NMEA0183
Tipo de antena	interna
LED indicador de sinal	sim
Taxa de transmissão	4800 bps
Número de canais	48

Fonte: Adaptado de GlobalSat (2017).

3.2.4 Controle do Leme

O leme é uma parte fundamental do projeto, pois é o responsável pela orientação de direção do barco. Para controlá-lo de forma eletrônica é utilizado um servo de alto torque e engrenagens de metal para suportar a carga do peso do barco nas manobras de bombordo e boreste. Foram testadas algumas marcas como *Futaba*, *TowerPro*, *HobbyKing*, porém sem torque suficiente. O modelo escolhido foi o servo RDS3115-MG da *Autobotic* pois, além das características desejadas, este servo possui um custo similar em relação aos demais. Na Figura 20 é visualizado o servo RDS3115-MG.

Figura 20: Servo RDS3115-MG.



Fonte: (AUTOBOTIC, 2017)

Na Tabela 5 tem-se as características do Servo RDS3115-MG.

Tabela 5: Características do Servo RDS3115-MG.

Tensão de operação	3,7 a 7,2 V
Corrente de operação	0,02 A
Giro angular máximo	180 graus
Temperatura de operação	-30 a +60 °C
Velocidade de reação	0,18 s/60 °C (4,8 V), 0,14 s/60 °C (6 V)
Configuração de zona morta	2 microssegundos
Compatibilidade do conector	JR e FUTABA
Torque	15,5 kg/cm(4,8V), 16.5 kg/cm(6V)

Fonte: Adaptado de Autobotic (2017).

Na Figura 21 tem-se o servo RDS3115-MG acoplado ao leme pela popa.

Figura 21: Leme acoplado ao servo RDS3115-MG.



Fonte: Autor.

3.2.5 AEROMOTOR E ESC

Para a locomoção do barco foi utilizado um Aeromotor (Conjunto Motor mais hélice), por ficar suspenso no barco e não ter contato com a água, evitando, assim, que a hélice possa enroscar com objetos dispersos na água, como lixo plástico ou aguapés fazendo o barco encalhar. O motor deve ter um empuxo > 1 kg para suportar a carga do barco. O modelo escolhido foi o *Turnigy D3536/5 1450KV Brushless Outrunner Motor*, que tem um empuxo de 1,3 kg, suficiente para movimentar o barco no atrito da água (Figura 22).

Figura 22: Motor elétrico Turnigy D3536/5.



Fonte: Hobbyking (2017).

As características do motor *Turnigy D3536/5* são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6: Características do Motor *Turnigy D3536/5 1450KV Brushless Outrunner*.

Tensão de operação	7,4V a 14,8 V
RPM	1450 kv
Corrente máxima	45 A
Corrente sem carga	3,5 A
Potencia máxima	655 W
Resistência Interna	0,023 ohm
Peso	102 g (incluindo conectores)
Diâmetro do eixo	5 mm
Dimensões	35x36 mm
Empuxo máximo	1380 g

Fonte: Adaptado de Hobbyking (2017).

Além do motor foi acoplada uma hélice 1145 (25,5 cm de comprimento x 2,7 cm largura) conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23: Hélice



Fonte: Hobbyking (2017).

ESC

Para controlar a velocidade do motor de forma segura e permitir o uso progressivo da potência disponível, é usado um Controlador Eletrônico de Velocidade (ESC), muito comuns em *drones* e aeromodelos, este dispositivo é capaz de prover um controle de velocidade usando circuitos integrados dedicados. O modelo escolhido para este trabalho foi o SBEC de 60A (Figura 24), pois suporta picos de carga superdimensionados provendo uma proteção para o circuito alimentado. Tem uma baixíssima resistência interna, possui um controle linear e suave de aceleração, além de ter uma proteção de sobrecarga. O controlador ainda suporta motores de altas rotações, como é o caso do motor usado no projeto.

Figura 24: Controlador Eletrônico de Velocidade.



Fonte: Hobbyking (2017).

3.2.6 Bateria

Para alimentar todos os componentes eletrônicos do projeto, foi utilizada uma bateria usada em equipamentos eletrônicos, que possa ser recarregável. A bateria possui custo baixo em relação as baterias de íons de lítio e tem uma potência suficiente para o projeto. Em testes preliminares esta bateria manteve o barco funcionando por aproximadamente 60 minutos com aeromotor operando a 30% de sua potência. O modelo escolhido foi o *Unipower* (Figura 25), de fabricação nacional, cuja tensão fornecida é de 12 V, com capacidade nominal de 7 Ah. Possui tensão constante a 25°C, corrente inicial (cíclico) de 1,75 A, tensão (cíclico) de 14,1 a 14,4 V e tensão (flutuação) de 13,5 a 13,8 V.

Figura 25: Bateria *Unipower* de 12 V x 7 Ah.

Fonte: Unipower (2016).

3.2.7 Sensor de temperatura

Para a calibração dos sensores, o monitoramento da temperatura da água e do ambiente foi necessária a aquisição de um sensor de temperatura que fosse a prova d'água. O modelo LM35 foi testado, porém, precisava de um isolamento entre os seus contatos, além disso, para alimentá-lo e fazer a leitura do pino de dados são usados 3 fios para cada sensor de temperatura. O modelo DS18B20 (Figura 26) foi escolhido pois além de atender a faixa de temperatura necessária (-55 a +125 °C), funciona com o protocolo *OneWire*¹, podendo ligar até 126 dispositivos no mesmo barramento, dispensando, assim, maior quantidade de fios do circuito até o ponto de monitoramento.

Figura 26: Sensor de temperatura DS18B20.

Fonte: Maxim (2016).

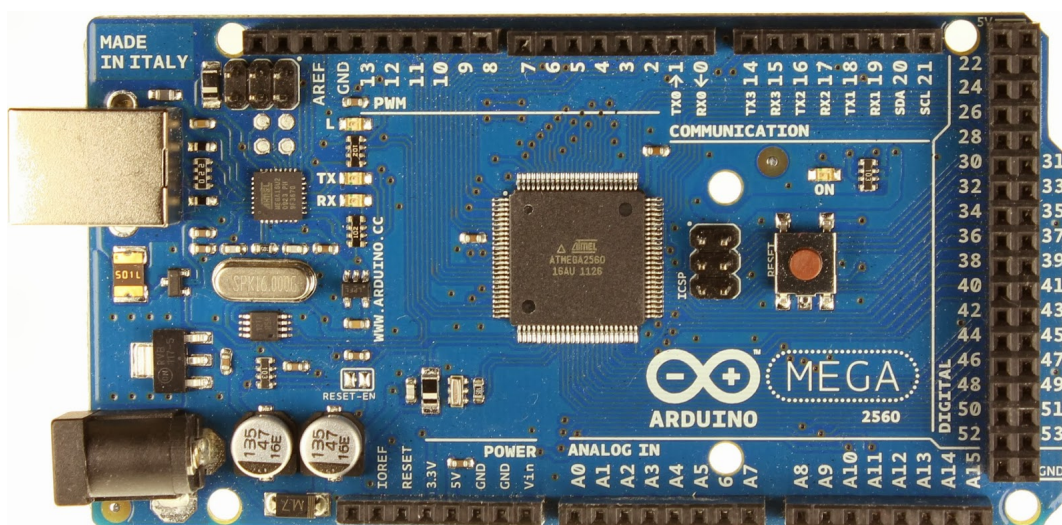
¹Protocolo OneWire - é um protocolo serial que usa uma única linha de dados mais referência do Terra para comunicação. Um mestre inicia e controla a comunicação com um ou mais dispositivos escravos no mesmo barramento.

3.2.8 Arduino

O Arduino é uma plataforma de *hardware* livre projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, com suporte de entrada/saída embutido e uma linguagem de programação padrão, essencialmente C/C++. O objetivo do projeto com Arduino é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por profissionais experientes, mas também por amadores. A plataforma Arduino destina-se, principalmente, para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e de ferramentas mais complexas (ARDUINO, 2016).

A família de placas Arduino possui vários modelos com quantidade de pinos de I/O diferentes. Para o projeto a única placa que atende é o modelo Arduino Mega 1280, que é utilizado no módulo que faz as leituras dos parâmetros de qualidade da água juntamente com os sensores da *Atlas Scientific* (ATLAS MODULE). O Arduino Mega possui um processador ATmega1280 com *clock* de 16 MHz que incorpora maior capacidade de memória e entrada e saída de dados e é construído utilizando tecnologia de montagem superficial SMT. Segundo Arduino (2016) o Arduino Mega apresenta as mesmas características elétricas do Arduino *Duemilanove*, mas disponibiliza 54 pinos para entradas e saídas digitais (I/O), 14 destes podendo ser utilizados como saída PWM, além de 16 entradas analógicas. A memória SRAM é de 8 kB a EEPROM 4 kb e a Memória *Flash* de 128 kb. Na Figura 27 tem-se o Arduino Mega e no Anexo D o seu esquemático.

Figura 27: Arduino Mega 1280.



Fonte: Arduino (2016).

Mega Sensor Shield

O Arduino possui placas de expansão que podem ser acopladas, chamadas de placa auxiliar ou *Shields*. Cada *Shield* contém sensores e/ou atuadores, bem como funcionalidades específicas (ARDUINO, 2016). O Mega Sensor *Shield* (Figura 28) permite conectar sensores diversos em suas 54 portas de I/O. Esta placa é utilizada no projeto para a interface com os sensores *Atlas Scientific*.

Figura 28: Mega Sensor *Shield*.



Fonte: ICStation (2016).

3.2.9 Raspberry Pi

Raspberry Pi (RPI) é um pequeno computador do tamanho aproximado de um cartão de crédito. O RPI é distribuído pela *Raspberry Pi Foundation* e possui plataforma baseada em um pequeno circuito integrado do tipo SOC², que abrange todos componentes internos necessários para o funcionamento de um computador. O modelo da RPI usado no projeto é o B+, pois foram incorporadas novas melhorias em relação a versão anterior como, por exemplo, aplicação de dois reguladores de tensão (*step-down*) para 3,3 V e 1,8 V, permitindo a integração de sensores de baixa

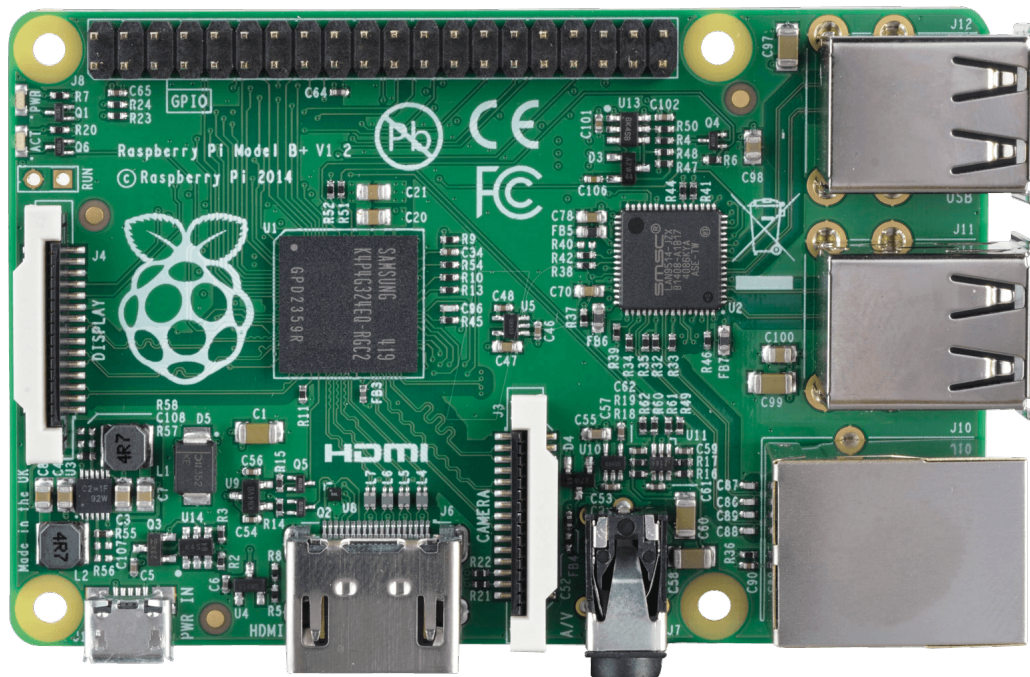
²SoC - *System on a Chip* Sistema em um chip capaz de conter processador, memória e até placa de vídeo.

tensão. O regulador de tensão de 5 V conta com proteção de polaridade e fusível de 2 A, além de possuir um novo controlador USB/Ethernet. O acréscimo de duas portas USB, mais pinos GPIO (*General Purpose Input/ Output*), obtém-se uma melhoria na utilização de cartões de memória *Micro SD*, com menor consumo de energia, além de melhor qualidade de áudio.

O RPI é dotado de diversas conexões, entre elas, quatro saídas para conexão USB, uma saída HDMI para conexão com um monitor ou televisor dotado desta tecnologia, 40 pinos GPIO para conexão de dispositivos junto ao sistema processador (26 primeiras portas condizem com o modelo B), um conector *Ethernet*, uma saída de áudio P2. O RPI possui ainda um processador de 700 MHz (ARM1176JZF-S), 512 MB de memória RAM e um GPU *Broadcom VideoCore IV*. Mesmo não possuindo memória não-volátil, a placa possui um compartimento para cartão *Micro SD* onde são armazenados os dados internos e externos.

O Raspberry Pi B+ executa diversos sistemas operacionais, dentre o mais comum o sistema *Raspbian*, que foi usado neste trabalho (RASPBERRYPI, 2017). Na Figura 29 tem-se a placa *Raspberry Pi B+* e no Anexo C o seu esquemático.

Figura 29: *Raspberry pi B+*.



Fonte: RaspberryPi (2017).

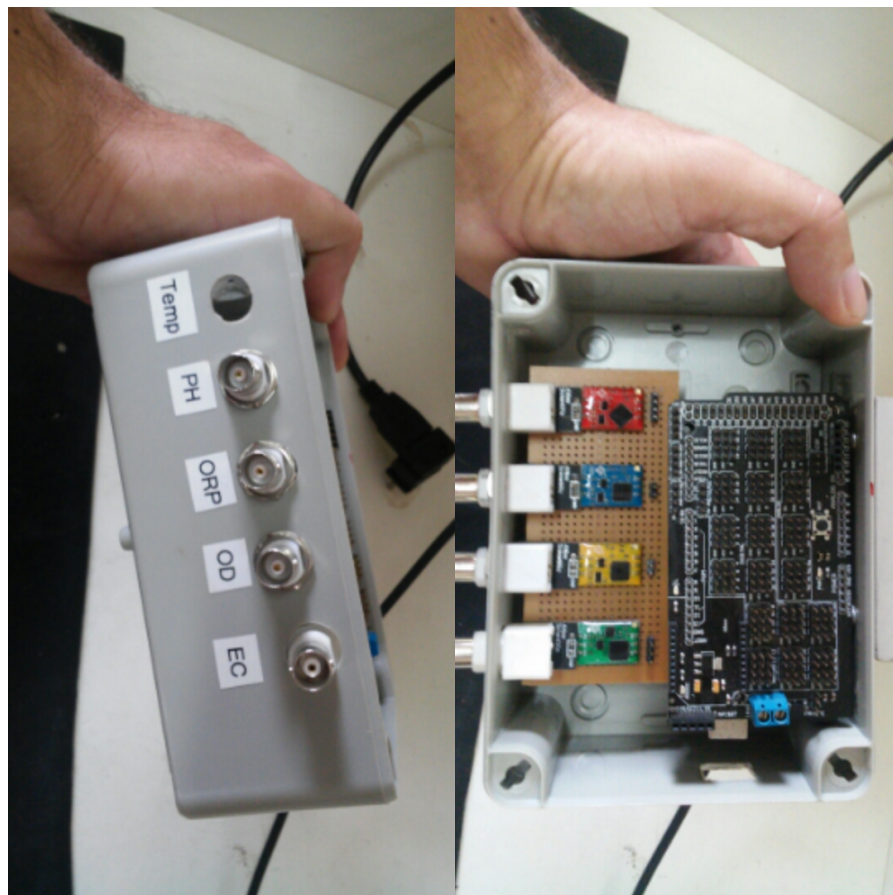
3.3 Desenvolvimento dos módulos de controle

Nesta seção são apresentados os módulos de controle dos sensores de medição da qualidade da água (ATLAS MODULE), bem como o módulo controlador principal dos sensores e atuadores do barco (MAIN MODULE). A construção e funcionamento de cada módulo são descritos.

3.3.1 ATLAS MODULE

Módulo responsável pela coleta e tratamento das informações dos sensores *Atlas Scientific*. Para esse módulo foi utilizado um Arduino Mega com uma placa auxiliar Mega Sensor *Shield*, é utilizada, também, uma placa matriz universal onde foram soldados todas as placas de captura dos sensores de análise da água. Na Figura 30 são mostrados todos os componentes do ATLAS MODULE abrigados em uma caixa hermética de 16 cm x 12 cm.

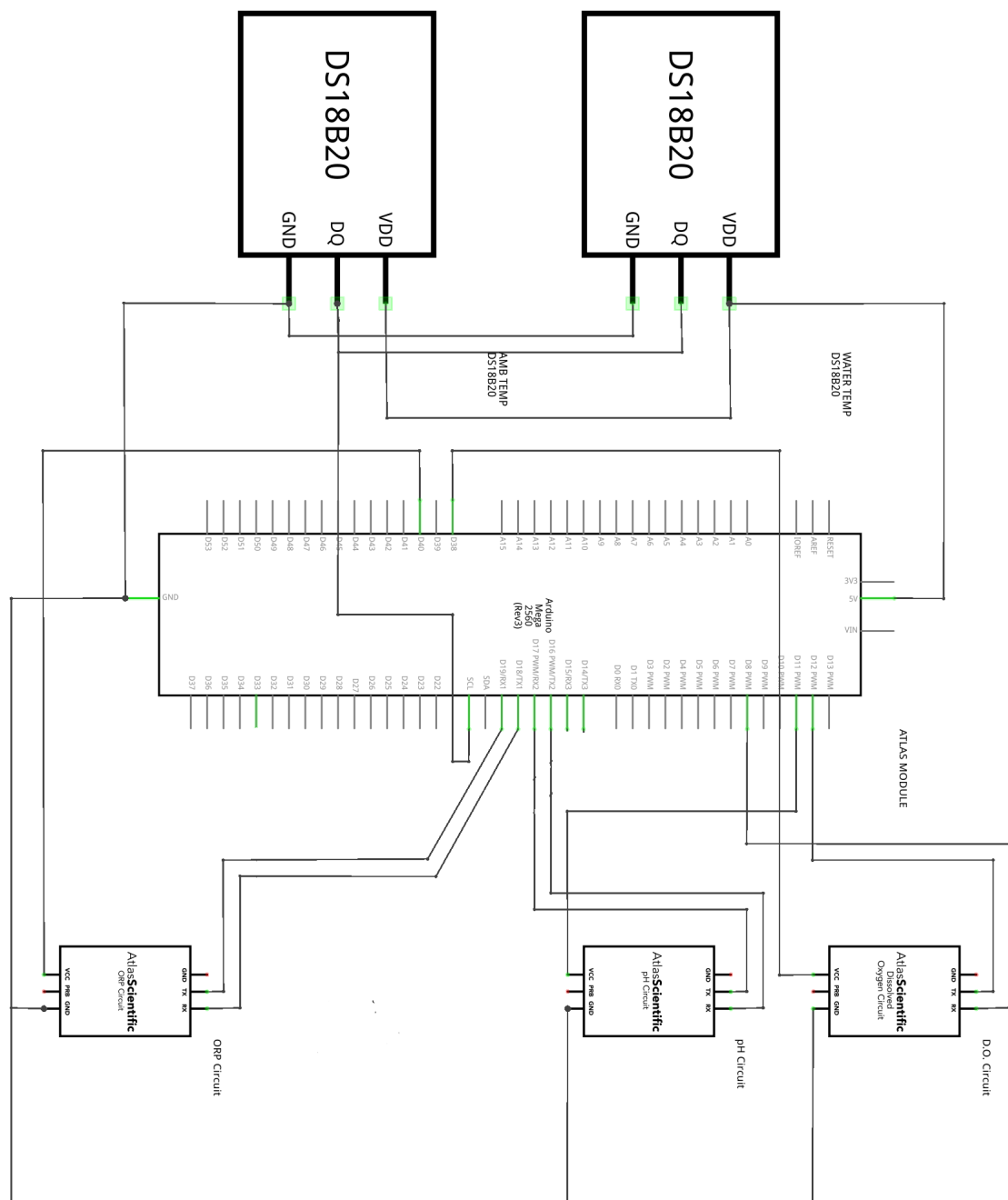
Figura 30: ATLAS MODULE.



Fonte: Autor.

Foram incorporados na placa dois sensores de temperatura DS18B20. O objetivo é fazer o monitoramento da temperatura da água e do ambiente ao mesmo tempo. O pino de dados (DQ) do sensor foi conectado ao pino 21 do Arduino. Ambos os sensores têm o DQ conectados, isso devido ao protocolo *OneWire* de chaveamento e aquisição de dados por um único fio. O esquemático do ATLAS MODULE é mostrado na Figura 31.

Figura 31: Esquemático do ATLAS MODULE.

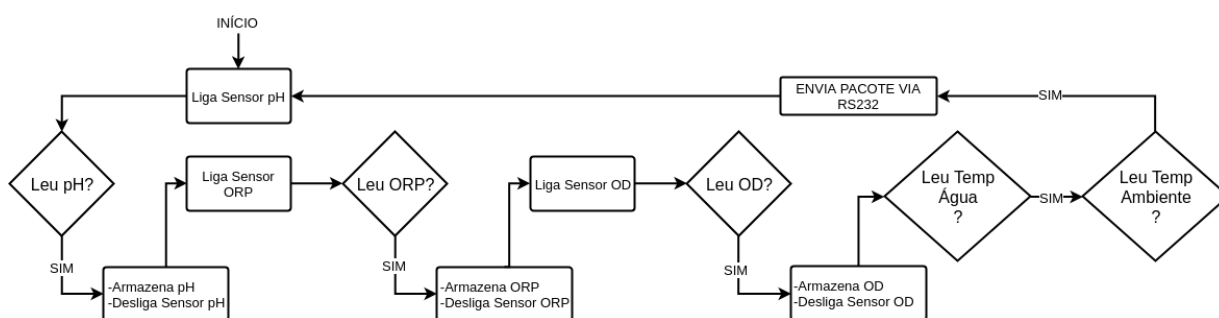


Fonte: Autor.

Sequência de aquisição de dados no *Atlas Module*

Quando algum sensor está efetuando alguma leitura, a presença de corrente elétrica na água gera interferências na leitura dos outros sensores, portanto é implementada no *firmware* uma leitura sequencial e única para cada sensor, de modo que nenhum possa interferir na leitura do outro. Quando o circuito é ligado pela primeira vez todos os sensores estão desligados, pois os mesmos são alimentados (VCC) por um pino diferente no Arduino. Dessa forma o sensor que faz a leitura de seu parâmetro é energizado pelo pino correspondente a seu VCC enquanto todos os outros permanecem desligados. Quando este terminar sua leitura a alimentação é desligada passando a sequência para o próximo sensor até chegar no último, então a sequência é retomada a partir do primeiro sensor. Na Figura 32 tem-se o fluxograma de aquisição de dados de cada sensor.

Figura 32: Sequência de aquisição de dados de cada sensor.



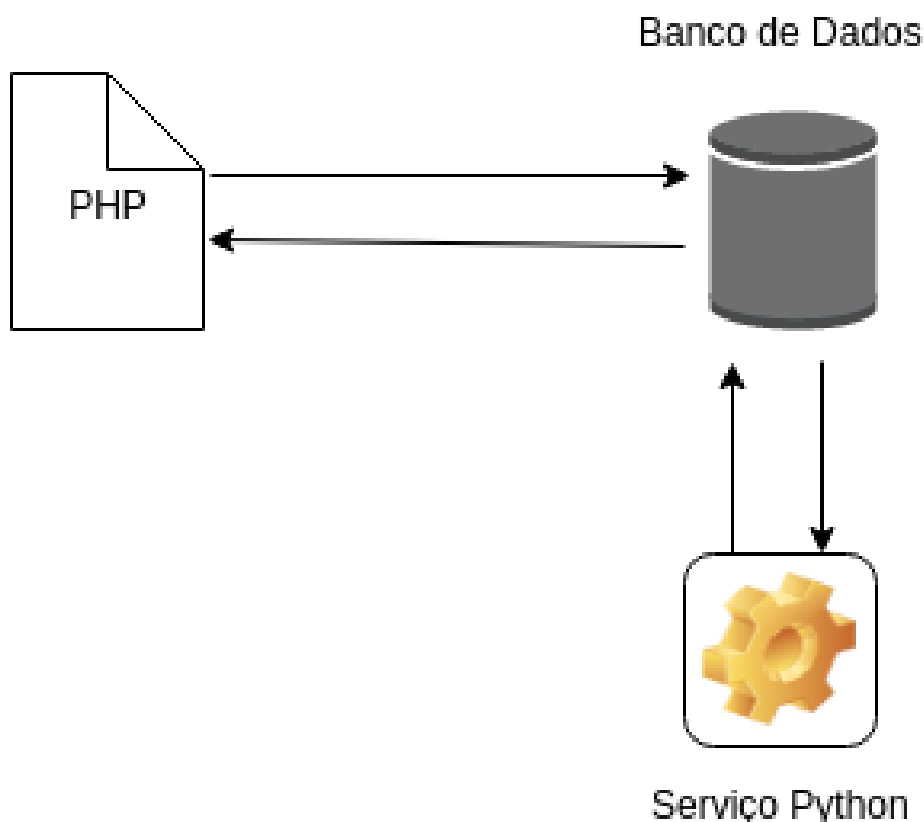
Fonte: Autor.

3.3.2 MAIN MODULE

O MAIN MODULE é o módulo desenvolvido neste trabalho que é responsável pelo controle e gerenciamento do funcionamento do barco. Este módulo compreende uma placa *Raspberry Pi* executando o sistema operacional (SO) Linux *Raspbian*. Esse SO foi utilizado nesta placa por ser de rápido processamento suficiente para o trabalho, além de um custo menor em relação ao um computador de pequeno porte de configuração semelhante. Nessa placa estão instalados o servidor de conteúdo web *Apache2*, o interpretador *Python2.7* e *PHP5*, além do banco de dados *Mysql* versão 5.5.53. A comunicação do GPS e ATLAS MODULE é estabelecida via porta USB. Para a comunicação remota com o *notebook* foi instalado um roteador WI-FI de uso doméstico alimentado pela bateria.

Ao energizar essa placa o sistema operacional inicia e também os serviços adicionais instalados (Apache, PHP e *MySql*). Logo após é iniciado o programa principal desenvolvido em linguagem *Python*. Este é o serviço principal do módulo. Primeiramente é verificado se o GPS e ATLAS MODULE estão devidamente conectados através de suas portas USB (/dev/ttyUSB0 e ttyUSB1 respectivamente). Após essa verificação são criadas duas *threads*³ de controle para cada módulo, essas *threads* são responsáveis pela codificação e decodificação do protocolo de comunicação do ATLAS MODULE e GPS, inserindo no banco de dados as informações recebidas a cada intervalo de tempo pré-definido. Assim, o servidor Apache monta uma página dinamicamente, via protocolo *http*⁴ gerando páginas web e as exibe ao operador, que pode fazer configurações afetando as tabelas do banco de dados conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33: Fluxograma do serviço de controle do MAIN MODULE.



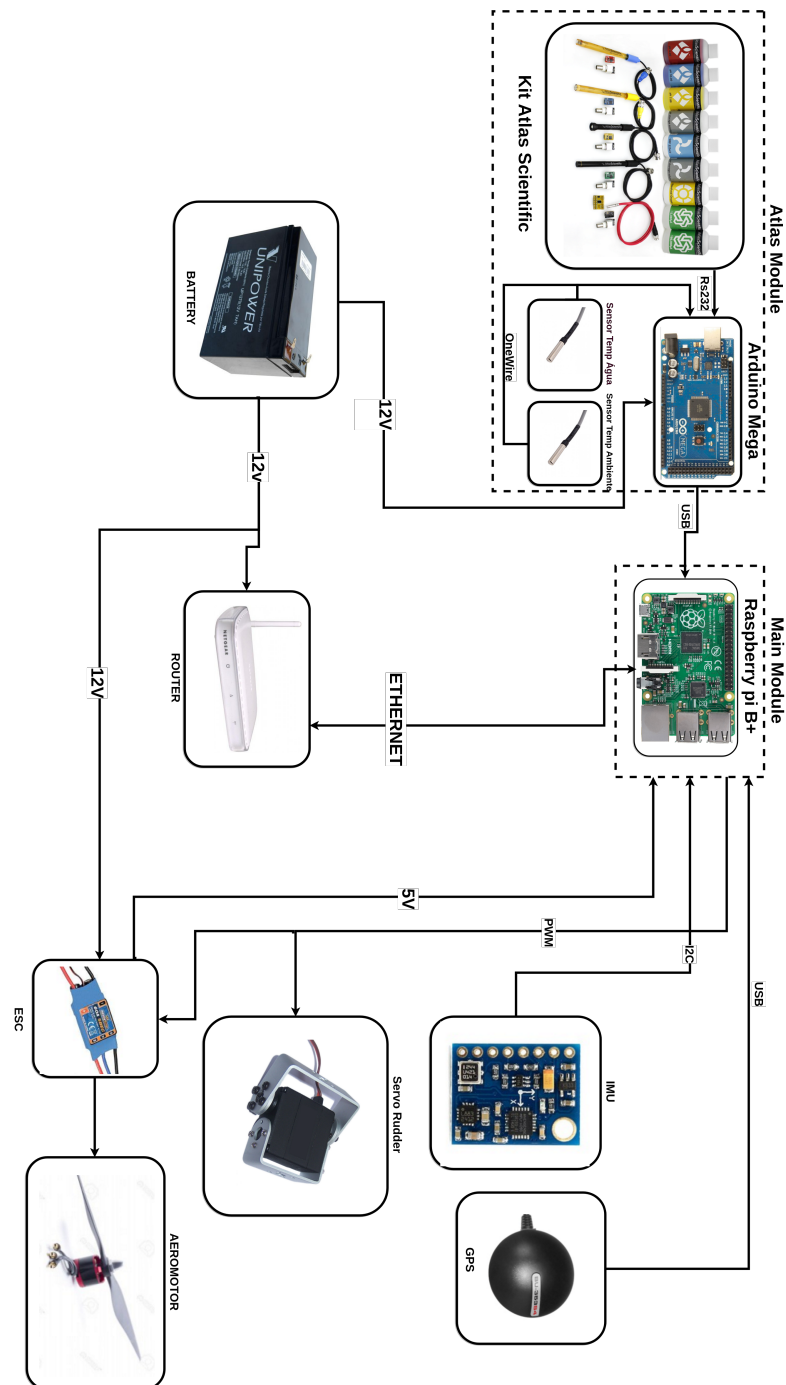
Fonte: Autor.

³Thread - é um pequeno programa que trabalha como um subsistema, sendo uma forma de um processo se autodividir em duas ou mais tarefas para rodar mais rápido do que um programa em um único bloco.

⁴Protocolo http - o Protocolo de Transferência de Hipertexto (http) é um protocolo de comunicação utilizado para sistemas de informação da *World Wide Web* (www).

A cada alteração de configuração do usuário através da aplicação web o serviço *Python* é notificado e o mesmo pode alterar todos os *status* de funcionamento dos módulos: requisitando, configurando ou parando a coleta de informações conforme instruções do operador. A arquitetura final do *hardware* montado no barco pode ser vista na Figura 34.

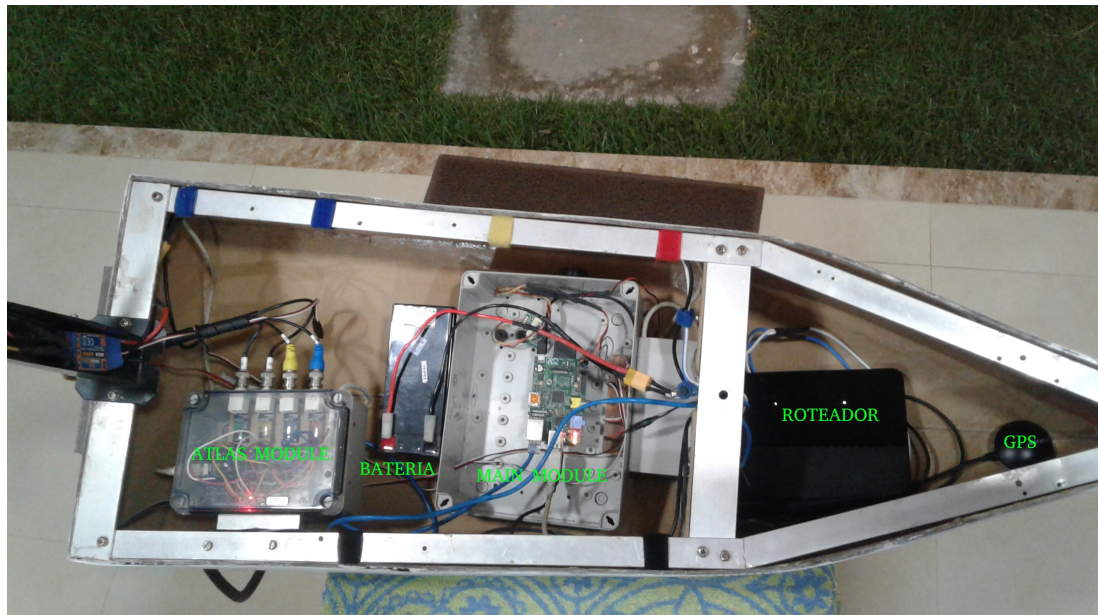
Figura 34: Arquitetura de hardware do aerobarco.



Fonte: Autor.

Na Figura 35 são mostrados o MAIN MODULE juntamente com os demais componentes abrigados dentro do casco do barco.

Figura 35: MAIN MODULE e demais componentes abrigados no barco.



Fonte: Autor.

Na Figura 36 é mostrado o barco montado, destacando seu casco em fibra de vidro e pintado com tinta automotiva. Adesivos foram colocados para a identificação e percepção do barco mesmo em grandes distâncias.

Figura 36: Barco montado no suporte de madeira para testes em lagoas.



Fonte: Autor.

3.4 Protocolos de comunicação

Para a comunicação do ATLAS MODULE com o MAIN MODULE foi desenvolvido, pelo autor, um protocolo de comunicação baseado no protocolo TCP⁵. Este novo protocolo trafega pela interface USB do Arduino Mega com a interface USB da *Raspberry pi*. Ao receber a mensagem contendo os dados de leitura dos parâmetros de qualidade da água, o MAIN MODULE solicita a localização atual do barco ao GPS através do protocolo NMEA e, logo após, salva os todos os campos no banco de dados.

3.4.1 Protocolo NMEA

O protocolo NMEA é o protocolo padrão de comunicação entre dispositivos náuticos e o GPS. Esse protocolo é composto por campos pré-definidos separados por vírgulas de fácil visualização. Para o trabalho é utilizado apenas os dados do campo “GPRMC” (*Recommended minimum specific GPS/Transit data*) para lê apenas a latitude e longitude. Os dados do protocolo são organizados conforme Tabela 7, em que \$GPRMC é o campo tipo de dado, TS é o campo *Time Stamp*, VAL é o campo de checagem de dados válidos onde A(ok) ou V (*invalid*), LAT é o campo da latitude atual, N/S é o campo de orientação cardinal *North/South*, LNG é o campo longitude atual, E/W é o campo orientação cardinal *East/West*, SP é o campo velocidade em nós, TC é o campo *True course*, DS é o campo *Date Stamp*, VR é o campo *Variation*, E/W é o campo de orientação da variação cardinal *East/West* e CHKS é o campo *Checksum* que indica se os dados recebidos são consistentes.

Tabela 7: Protocolo NMEA

\$GPRMC	TS	VAL	LAT	N/S	LNG	E/W	SP	TC	DS	VR	E/W	CHKS
---------	----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	-----	------

Fonte: Autor.

Todos os eventos de comunicação e alertas pela porta USB oriundas do ATLAS MODULE e GPS são devidamente monitorados e salvos no arquivo de *log* do sistema operacional (*Syslog*). Dessa forma todos os eventos permanecem disponíveis por até uma semana, para uma posterior auditoria de funcionamento.

⁵O protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) é fundamental para as comunicações da Internet desde os primórdios da rede, pois a maior parte dos protocolos de aplicação necessita de transmissões confiáveis. O TCP apresenta como principal característica a transferência de dados confiável fim-a-fim

3.4.2 Comunicação intermódulos

Esse protocolo tem como característica ter todos os campos de dados separados por vírgula. O ATLAS MODULE envia a cada 12 segundos os dados de coleta de todos os sensores para o MAIN MODULE. Os campos do protocolo são organizados conforme Tabela 8, em que * representa o início do pacote; Temp. água é o campo de temperatura da água; Temp. ambiente é o campo da temperatura do ambiente; PH é o campo do potencial Hidrogeniônico e ORP é o campo do Potencial de Oxirredução. Após recebido esse pacote (mensagem) o MAIN MODULE verifica sua consistência através dos campos * e #, os quais indicam o início e fim de mensagem respectivamente. Após validar a mensagem são incluídos a data, hora, latitude, longitude e, em seguida, salvos no banco de dados.

Tabela 8: Protocolo Atlas Module.

*	Temp. água	Temp. ambiente	PH	ORP	OD	#
---	------------	----------------	----	-----	----	---

Fonte: Autor.

3.4.3 Comunicação *Ground Station*

A comunicação do barco com a estação base (*Ground Station*) ocorre por conexão sem fio através de *notebook*, *tablet* ou celular com um roteador WIFI conectado a porta *Ethernet* da placa *Raspberry Pi* (MAIN MODULE) no barco. Assim o dispositivo configurado para acessar o roteador pode através do navegador de Internet e informado o endereço IP do roteador ter acesso a sistema de gerenciamento do barco. A comunicação ocorre a uma distância de até 30 m. O detalhamento de funcionamento do *software* de gestão do barco será visto na próxima seção.

3.5 Desenvolvimento do Software de controle

Para gerenciamento das funções do barco foi desenvolvido um software com interface WEB para que a tarefa de configuração dos *waypoints* (pontos de trajeto), acompanhamento da missão (trajetória do barco e coleta de dados) e geração de relatórios fosse o mais simples possível utilizando a API⁶ do *Google Maps*. O *software*

⁶API - *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicativos) é o conjunto de padrões de programação que permite a construção de aplicativos e a sua utilização interligando diversas funções em um site de forma transparente ao usuário

foi desenvolvido usando padrão HTML5⁷ e linguagem de programação PHP com interface para o banco de dados MySQL⁸. O *software* é composto por uma única tela com seções onde são carregadas outras telas de acordo com os botões do menu e atualizadas em tempo real. Na parte superior do *software* além dos menus tem-se informações sobre a missão e seu georreferenciamento como latitude, longitude, próxima latitude, próxima longitude, número de *waypoints*, próximo *waypoint*, altitude, data, hora e número de satélites. Na Figura 37 é mostrada a tela principal do *software*.

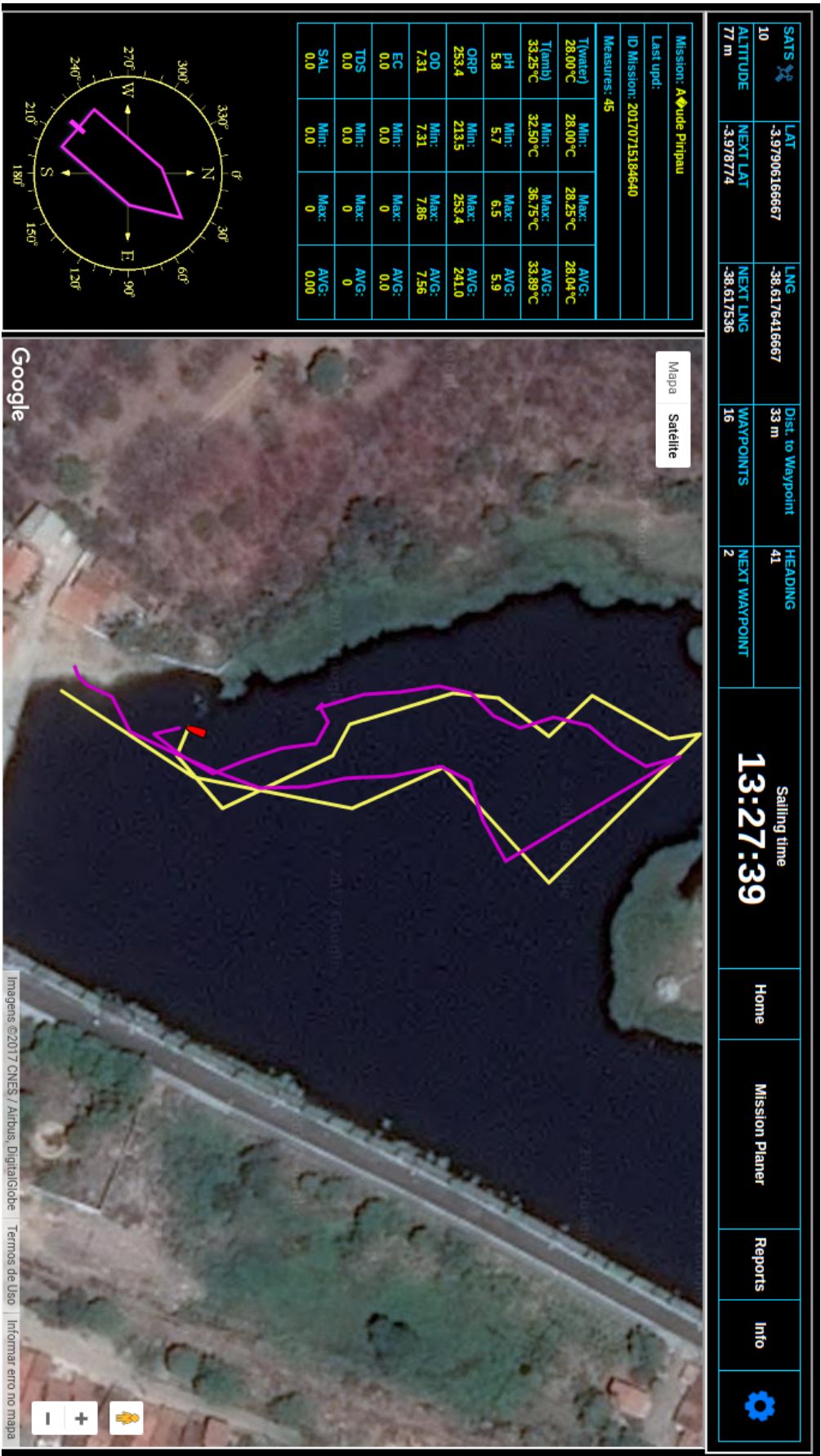
Na parte esquerda tem-se as informações sobre a lagoa, coletas dos parâmetros da água bem como a direção cardinal do barco. Ao centro o mapa com a trajetória programada (na cor amarela) e a trajetória executada (cor rosa). Ao iniciar o programa, digitando o IP na barra de endereços do *browser*, automaticamente é carregado o mapa com a localização do barco através do módulo GPS via MAIN MODULE. Abaixo tem-se a descrição de cada menu do sistema.

- *Home*: Página inicial do programa. Nesse menu é exibido o mapa da lagoa com o percurso do barco em tempo real.
- *Mission Planer*: Menu onde é configurada a missão, nome da lagoa e *waypoints* a serem percorridos pelo barco (trajetória).
- *Reports*: Nesse menu têm-se os relatórios gerados com os dados coletados durante a missão.
- *Services*: Menu em que são exibidos dados de funcionamento interno do barco como a temperatura interna das placas eletrônicas e o tempo de funcionamento do barco em minutos.
- *Info*: Menu que contém informações gerais da missão atual, como id, data, hora, latitude, longitude e quantidade de amostras coletadas. Nesse menu também pode-se ligar, desligar e reiniciar todo o sistema do barco.

⁷HTML5 - O *Hyper Text Markup Language* (Linguagem de marcação de hipertexto) versão 5 têm a finalidade de facilitar a compreensão e a manutenção do código através do XML para a criação de documentos que possuem uma hierarquia de dados, como bancos de dados e textos.

⁸MySQL - é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) que utiliza a linguagem SQL (*Structured Query Language*) linguagem de consulta estruturada como interface.

Figura 37: Software de gerenciamento do barco.



Fonte: Autor.

Através do menu “*Mission Planer*”, na tela que se abre (no centro) é solicitado que o operador atribua um nome para a missão e demarque as regiões na lagoa que deseja que o barco percorra, clicando sobre os pontos que deseja no mapa. Nessa tela podem-se marcar, desmarcar, alterar a ordem e até excluir *waypoints*, conforme decisão do operador. Uma vez a missão configurada o barco aguarda o início da missão através do botão “*Start Mission*” do menu “*info*”.

Ao iniciar a missão o aeromotor é ligado, o barco começa a se deslocar e sua trajetória é exibida em tempo real a medida em que navega, destacando os *waypoints* delimitados pelo operador. As coordenadas GPS de latitude e longitude são lidas, bem como o registro do primeiro *waypoint* armazenado no banco de dados. De posse desses dados é calculada a distância atual do barco até o próximo *waypoint*, se a distância for menor que 5 metros o próximo *waypoint* é carregado e, novamente é calculada a nova distância com base nas coordenadas GPS atuais. Nesse período o erro do ângulo de rolamento (direção do leme) é calculado e corrigido para que o barco siga em linha reta na direção do *waypoint*. Essa verificação é feita a cada 1 segundo até que o barco esteja alinhado com o ângulo de rolamento do destino. Esse processo continua até que o barco tenha percorrido todos os pontos gravados da missão. Para calcular a distância é utilizada a fórmula de *Haversine*:

$$\begin{aligned}\Delta lat &= lat_2 - lat_1 \\ \Delta long &= long_2 - long_1 \\ a &= \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) \\ c &= 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \\ d &= R \cdot c\end{aligned}$$

em que c é a distância percorrida na superfície da esfera em radianos; a é o quadrado da metade do comprimento da linha reta que liga os dois pontos (*waypoints*) e d é a distância em função de R .

O ângulo de rolamento (θ) entre os *waypoints* é calculado como:

$$\theta = \tan^{-1}(\sin(\Delta long) \cdot \cos(lat_2), \cos(lat_1) \cdot \sin(lat_2) - \sin(lat_1) \cdot \cos(lat_2) \cdot \cos(\Delta long))$$

Uma vez calculadas a distância (d) e o ângulo de rolamento (θ), através dos dados de localização fornecidos pelo GPS o trajeto é definido.

Quando o barco está em deslocamento há uma ação axial dos ventos sobre sua estrutura fazendo com que seu trajeto seja alterado. Dessa forma, o sistema registra um erro entre o ângulo planejado e o ângulo obtido em tempo real. O erro do ângulo é calculado subtraindo o ângulo atual do barco com o ângulo de rolamento do próximo *waypoint*. O resultado computado é transferido para o algoritmo de controle proporcional do leme corrigindo a posição do barco até que o erro tenda a zero. O algoritmo do ângulo de correção do leme é dado por:

$$error_angle = target_angle - curr_angle;$$

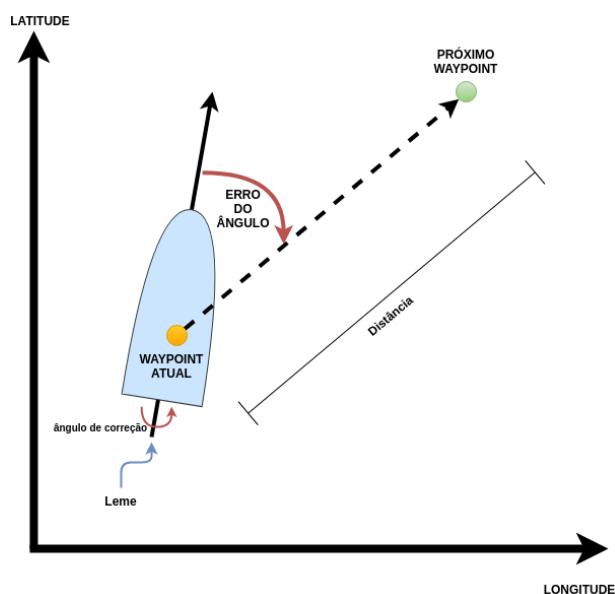
$$IF(error_angle < -180)\{rudder_angle = 90 + (360 + error_angle);\}$$

$$IF(error_angle > 180)\{rudder_angle = 90 + (360 - error_angle);\}$$

em que *error_angle* é o erro do ângulo atual do barco em relação ao ângulo de rolamento do *waypoint*, *target_angle* é o ângulo de rolamento do *waypoint*, *curr_angle* é o ângulo do barco calculado com a bússola digital (magnetômetro), *rudder_angle* é o ângulo de correção do leme.

Quando o *error_angle* for igual a 0 a posição do leme será de 90 graus em relação a popa do barco, fazendo com que o barco se desloque em linha reta. Através da bússola eletrônica, o erro do ângulo em relação ao próximo ponto a ser percorrido é calculado e corrigido, como mostrado na Figura 38.

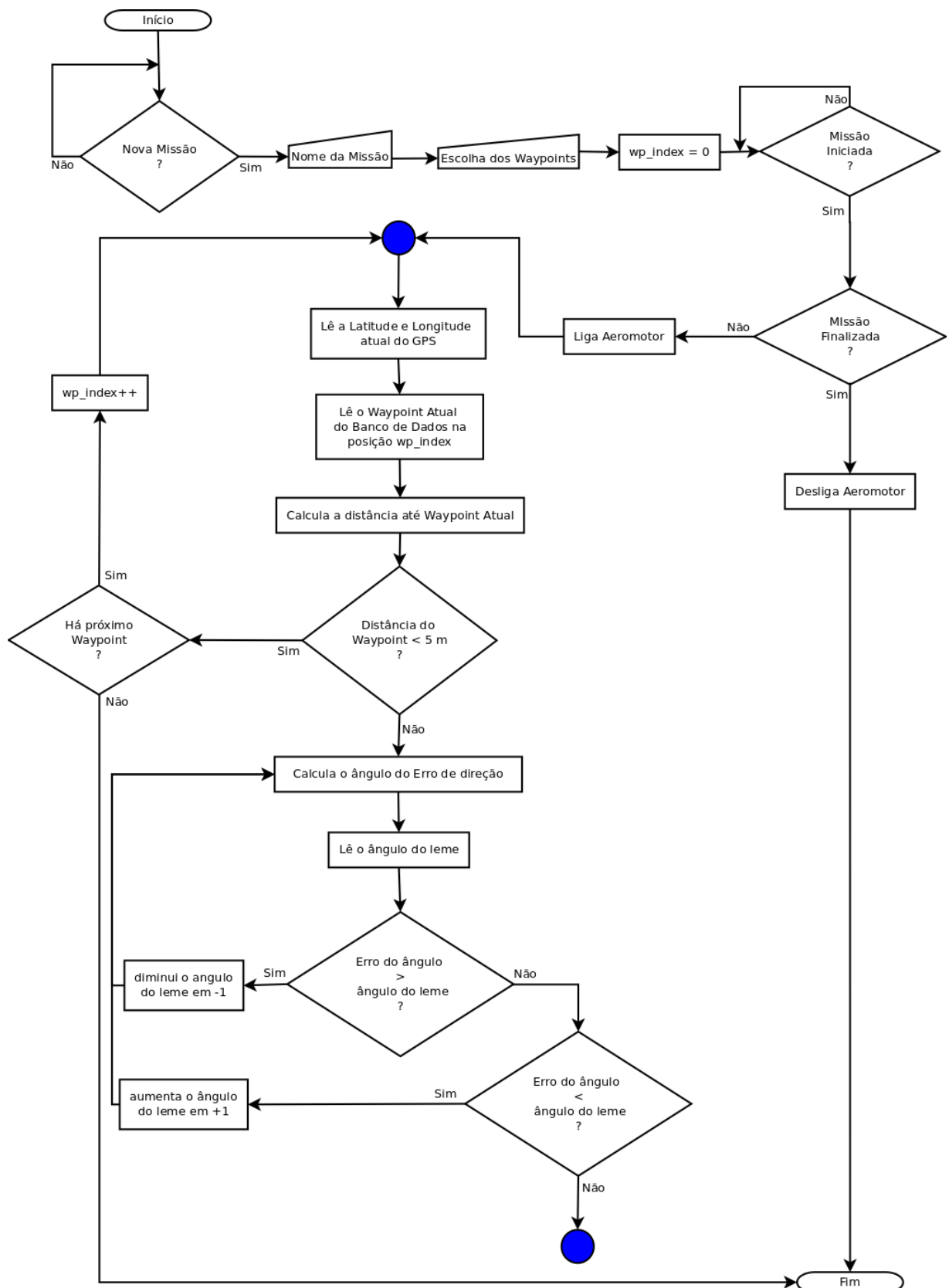
Figura 38: Distância e ângulo de rolamento.



Fonte: Autor.

Na Figura 39 tem-se o fluxograma de funcionamento geral do *software* do barco.

Figura 39: Fluxograma de funcionamento geral do *software* do barco.

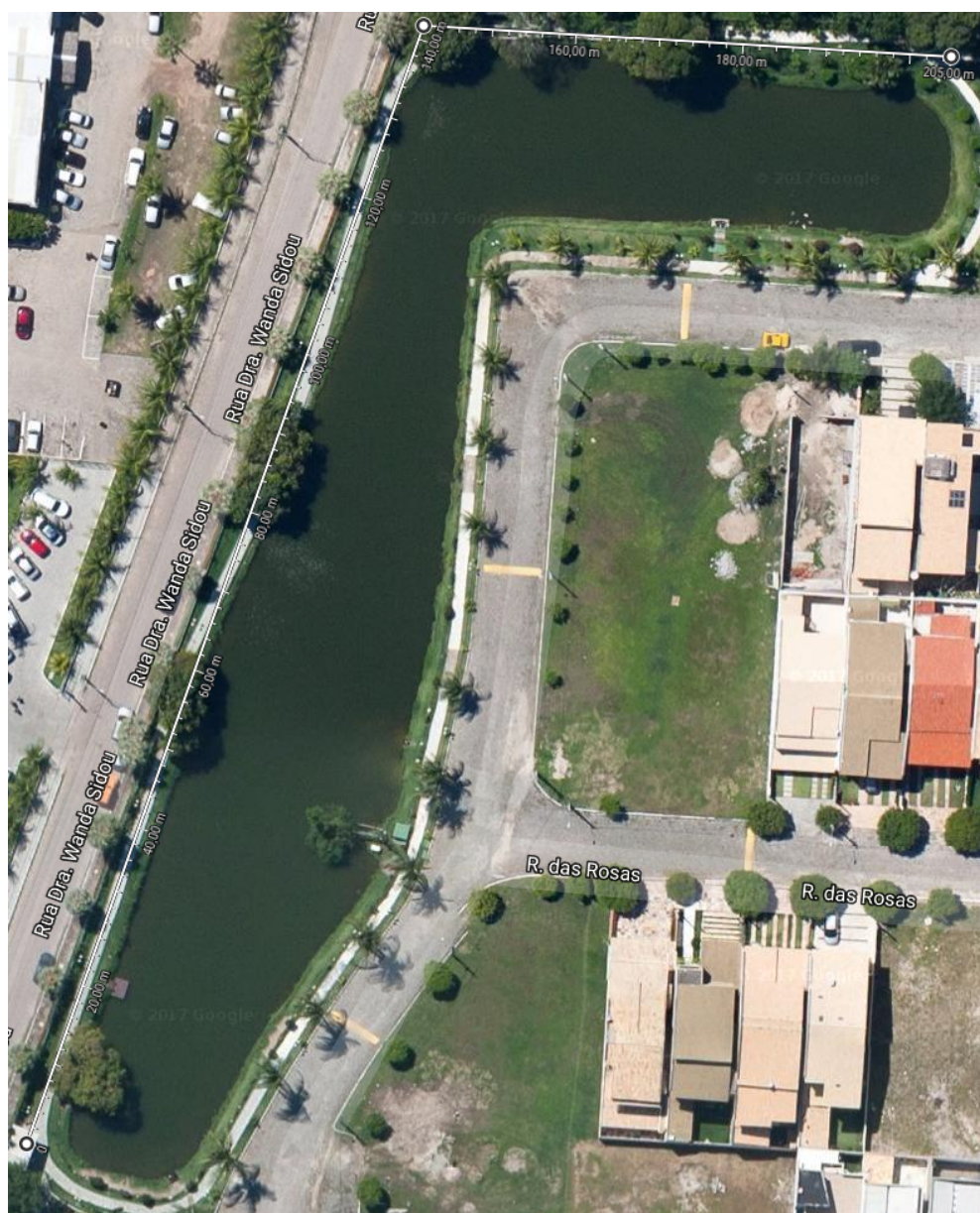


Fonte: Autor.

3.6 Metodologia de testes

Nesta seção são apresentados os métodos de teste de leitura e armazenamento dos parâmetros da água no banco de dados do barco através de rádio controle e de forma autônoma. Para testes preliminares o barco foi colocado em um ambiente mais controlado, estreito e de fácil acesso caso houvesse alguma pane durante o funcionamento do barco. O local escolhido foi uma lagoa pequena de aproximadamente 15 m de largura e 205 m de comprimento situado no condomínio fechado Jardins de Alice e Pereira no bairro Cajazeiras em Fortaleza/CE (Figura 40).

Figura 40: Lagoa do condomínio Jardins Alice e Pereira em Fortaleza/CE.

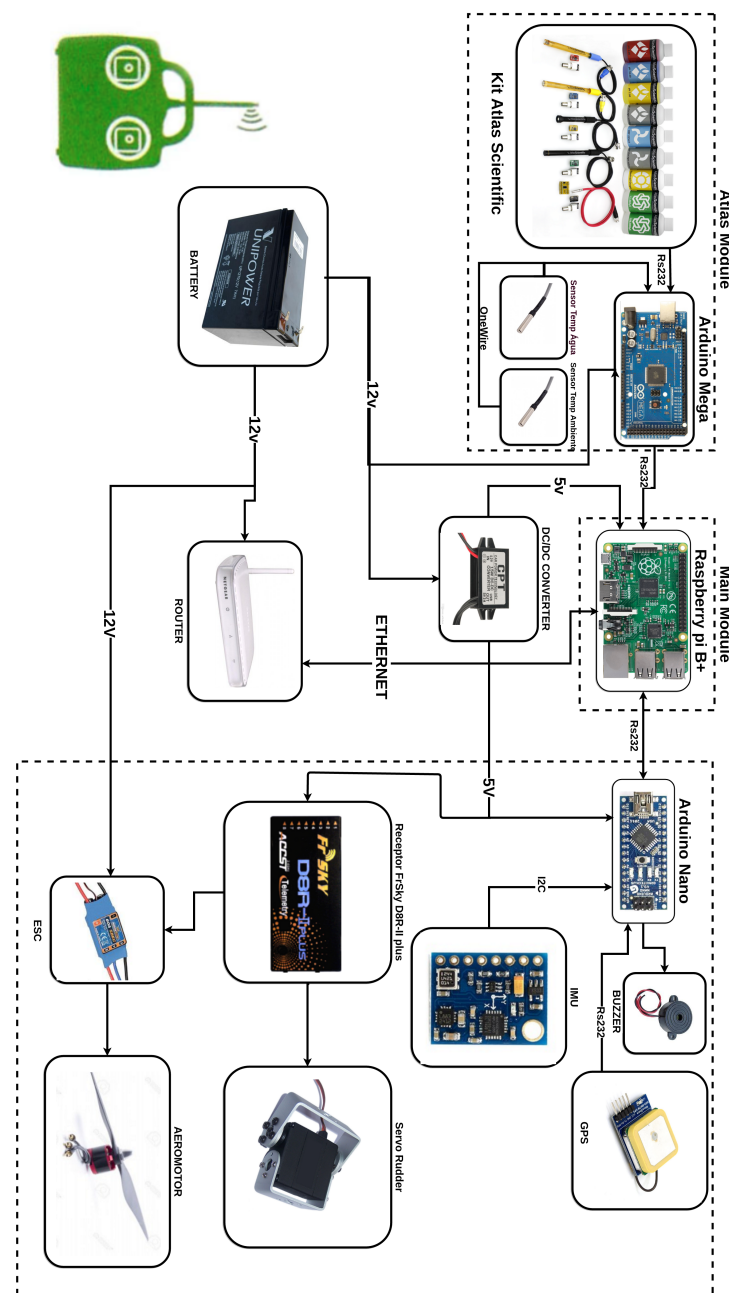


Fonte: Adaptado de GoogleMaps (2017).

3.6.1 Teste não-autônomo

Como o barco ainda não operava de forma autônoma, foi validada a leitura dos sensores (ATLAS MODULE) e o armazenamento no banco de dados do MAIN MODULE. Foi incluído um Arduino nano, um GPS Serial e um *Buzzer*⁹ para alerta de Bateria em nível abaixo de 11 Volts. O conjunto eletrônico do barco para operação não-autônoma é mostrada na Figura 41.

Figura 41: Modificação do hardware para controle remoto.



Fonte: Autor.

⁹Buzzer: Dispositivo eletrônico que emite um som agudo usado em pequenos alarmes.

O aeromotor e o servo *rudder* (leme) foram desconectados do MAIN MODULE e conectados a um receptor *FrSky D8R-II plus* para a operação manual via controle remoto *Turnigy 9x* com módulo transmissor adaptado modelo *FrSky*. O módulo GY-87 e o GPS Serial foram ligados a um Arduino Nano para o envio de seus dados via porta USB para o MAIN MODULE.

A operação foi iniciada ligando a bateria do barco ao conjunto eletrônico. Após isso, foi acessado o sistema gerenciador do barco pelo *browser* com o endereço IP do roteador através de um *notebook*. Ao serem exibidas as leituras dos sensores foi iniciada a navegação ligando o Aeromotor com 30 % de sua potência fazendo o barco se deslocar lentamente. A trajetória do barco foi controlada remotamente e, paralelamente, o MAIN MODULE armazenava as coletas do ATLAS MODULE no banco de dados. Foram coletados durante a missão 62 análises de cada sensor. Após as coletas o barco foi recolhido e colocado em seu suporte, os sensores foram lavados com água destilada e colocado os seus respectivos protetores.

Através do menu “*Reports*” foram gerados gráficos com os valores de pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial de Oxi-redução (ORP), temperatura do ambiente e temperatura da água. Os parâmetros de cada sensor supracitados foram plotados respeitando-se sua proporcionalidade em relação as unidades gráficas. Após validado a análise da qualidade da água foi desenvolvido um algoritmo para a navegação autônoma utilizando os dados de trajeto armazenados no Banco de Dados. Por se tratar de um teste de verificação os dados resultantes das análises dos parâmetros da água não foram levados em conta para esse trabalho. Na Figura 42 tem-se o barco em operação por controle remoto.

Figura 42: Coleta de dados manual na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.



Fonte: Autor.

3.6.2 Teste autônomo

Após desenvolvido o algoritmo de navegação autônoma (Figura 39) e a modificação do circuito conforme Figura 34, através do menu “*Mission Planer*” do *software* de gerenciamento do barco foi traçado um trajeto no mapa da Lagoa Jardins de Alice e Pereira – *waypoints* (cor amarelo) que o barco deveria percorrer. Durante o percurso, a cada análise, o *software* armazenava no banco de dados as análises associando as coordenadas GPS dos *waypoints* percorridos pelo barco (cor rosa) como mostrado na Figura 43.

Figura 43: Coleta de dados autônoma na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.



Fonte: Adaptado de GoogleMaps (2017).

Devido a imprecisão que há na grande maioria dos sistemas GPS, o trajeto executado (cor rosa) teve uma variação de cerca de aproximadamente 5 m em relação ao trajeto planejado (cor amarelo). Contudo, o barco percorreu o trajeto mantendo suas proporções e sem tombar para a borda. Foram realizadas, durante a missão, 45 coletas de parâmetros da água por sensor e os resultados foram salvos no banco de dados. Em algumas ocasiões o vento provocou uma mudança de trajeto, fazendo com que o aerobarco desse uma volta completa até chegar ao *waypoint* planejado devido ao controlador proporcional do leme.

Por se tratar de um teste de verificação os dados gerados das análises da qualidade da água não foram levados em conta para esse trabalho.

3.7 Conclusão do Capítulo

A metodologia apresentada neste capítulo consiste na montagem de um Aerobarco, no desenvolvimento de um sistema de monitoramento e gerenciamento do barco em que as variáveis (Oxigênio Dissolvido, Sólidos Dissolvidos Totais, pH, Temperatura da água e do ambiente) serão analisadas. A metodologia é representada, resumidamente, através da Figura 11. O fluxo de informações de trabalho segue os seguintes itens:

- Desenvolvimento e montagem do aerobarco;
- Levantamento e desenvolvimento do *hardware* (módulos de controle);
- Desenvolvimento do protocolo de comunicação;
- Desenvolvimento do *software* de controle de navegação;
- Testes em campo (Não-autônomo e autônomo);
- Aquisição e validação da coleta dos dados.

Assim, no próximo capítulo, os resultados obtidos com as respectivas discussões são apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos através da navegação autônoma em três lagoas. É validado experimentalmente o sistema de aquisição de dados em cada lagoa, bem como, é realizada uma análise comparativa entre os dados coletados de três lagoas.

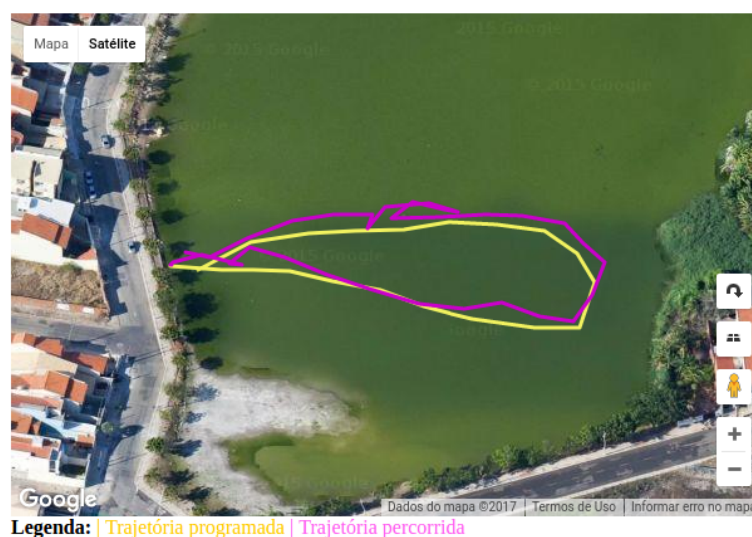
4.1 Análises das Lagoas

Nesta seção são apresentados e discutidos o trajeto e análise dos parâmetros da água na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira; Condomínio Villa Verde, ambas no bairro Cajazeiras em Messejana, Fortaleza/CE além do açude Piripau, localizado em Pacatuba/CE. Para a escolha das lagoas foram analisados a localização, o tamanho e o acesso. Por questões de segurança física e dos equipamentos foram escolhidos lagoas urbanizadas de tamanho pequeno e que fosse de fácil acesso, caso houvesse alguma intercorrência com o barco durante a missão. Em todas as lagoas as missões foram bem sucedidas e foram gerados os relatórios com suas respectivas análises. Em alguns casos o vento foi desfavorável provocando um desvio de trajeto, mas que logo foi corrigido com o algoritmo de navegação autônoma. Todas as análises, bem como, as ocorrências são discutidas nesse capítulo. As tabelas com todos os parâmetros coletados estão no Apêndice A.

4.1.1 Lagoa de Cajazeiras

A primeira missão autônoma oficial ocorreu na lagoa de Cajazeiras (latitude: -3.810908, longitude: -38.506210) no dia 15 de julho de 2017 (*ID Mission*: 20170715180423). Os trajetos configurados e percorridos pelo barco são exibidos na Figura 44.

Figura 44: Coleta de dados na lagoa de Cajazeiras.



Fonte: Adaptado de GoogleMaps (2017).

A missão iniciou-se as 09h50min e findou-se as 09h59min, totalizando 35 coletas. Na Tabela 9 é exibido o número de coletas, seus valores máximos, mínimos, bem como a média e desvio padrão (DP) de cada parâmetro.

Tabela 9: Dados gerais de coletas na Lagoa de Cajazeiras.

Parâmetro	Unidade	Coletas	Min	Max	Média	DP
Temperatura Ambiente	°C	35	30,25	32,00	30,93	0,46
Temperatura da Água	°C	35	27,50	27,75	27,54	0,09
Oxigênio Dissolvido (OD)	ppm	35	8,93	9,14	9,10	0,05
Potencial Oxi-redução (ORP)	mV	35	100,50	113,30	107,82	2,77
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	35	7,80	8,10	7,89	0,07

Fonte: Autor.

Como se pode observar na Tabela 9 a temperatura do ambiente teve um valor mínimo de 30,25 °C e máximo de 32,00 °C, tendo uma média de 30,93 °C e desvio padrão de 0,46.

Na Figura 45 têm-se as variações de temperatura durante o percurso dos 35 *waypoints*. Sendo o de maior valor no *waypoint* 1 e o de menor valor nos *waypoints* de 7 a 10.

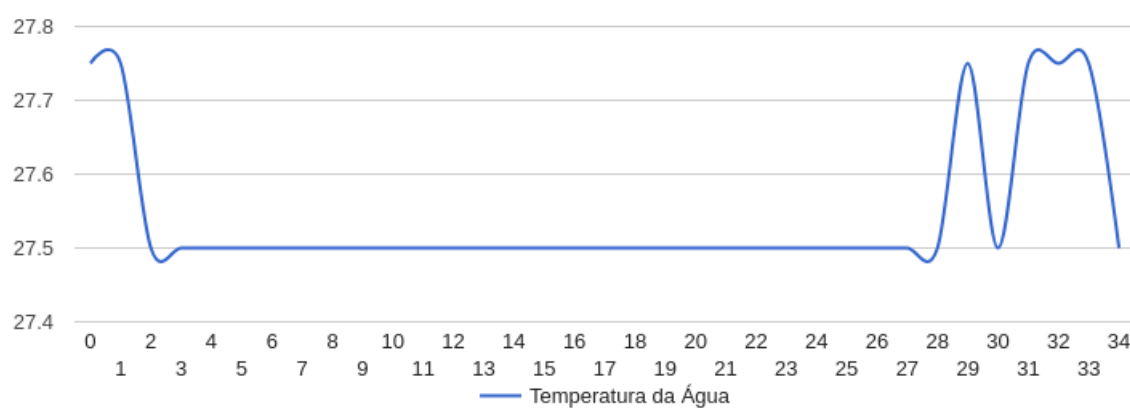
Figura 45: Gráfico de temperatura do ambiente x *waypoint* na Lagoa de Cajazeiras.



Fonte: Autor.

Com relação a temperatura de água teve um valor mínimo de 27,50 °C e máximo de 27,75 °C, tendo uma média de 27,54 °C e desvio padrão de 0,46 °C. A temperatura manteve-se constante durante a maior parte do trajeto, tendo pequenas variações nos primeiros e nos últimos *waypoints*, conforme mostrado na Figura 46.

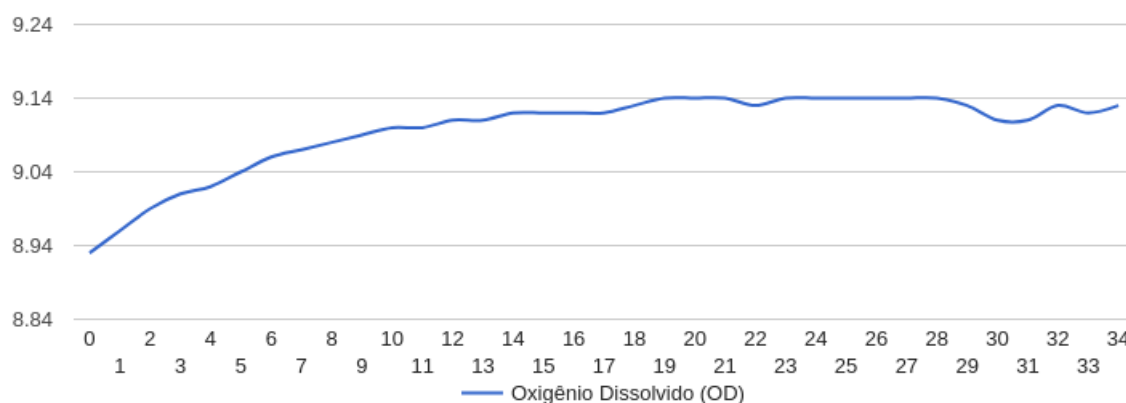
Figura 46: Gráfico de temperatura da água x *waypoint* na Lagoa de Cajazeiras.



Fonte: Autor.

O valor do Oxigênio Dissolvido (OD) teve um valor mínimo de 8,93 ppm e máximo de 9,14 ppm, tendo uma média de 9,10 ppm e desvio padrão de 0,05. Durante o trajeto houve um crescimento discreto chegando ao valor máximo 9,14 ppm nos *waypoints* 19 a 21 e 23 a 28 conforme mostrado na Figura 47.

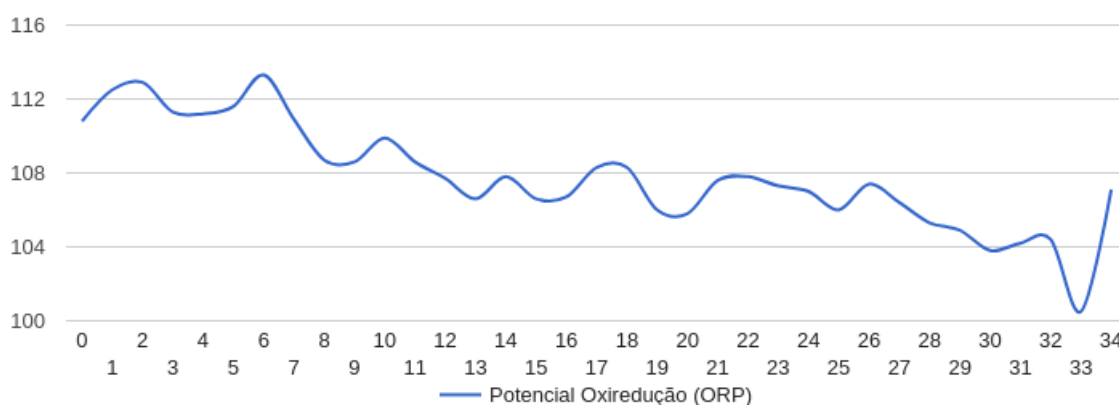
Figura 47: Gráfico de OD x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.



Fonte: Autor.

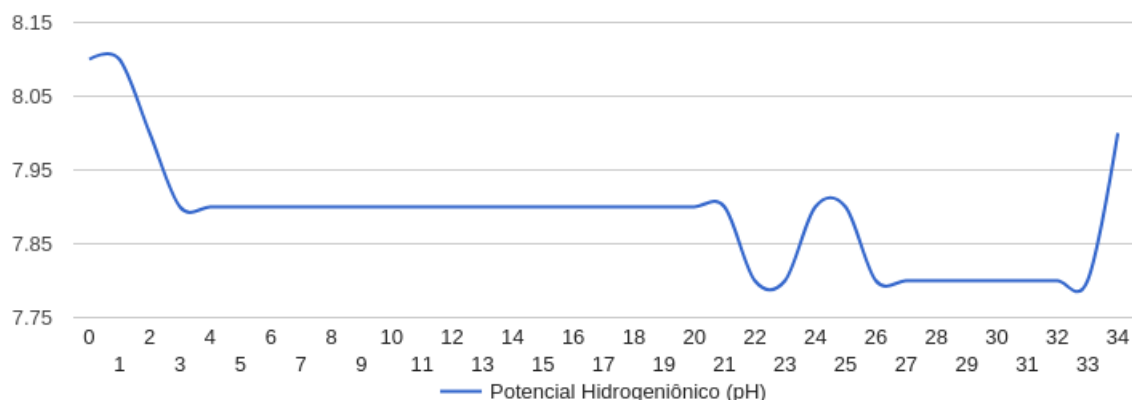
O Potencial de Oxirredução (ORP) obteve valores bastante dispersos em determinadas regiões da lagoa, cujo valor mínimo foi de 100,50 mV no *waypoint* 33 e máximo de 113,30 mV no *waypoint* 6, com média de 107,82 mV e desvio padrão de 2,77 conforme mostrado na Figura 48.

Figura 48: Gráfico de ORP x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.



Fonte: Autor.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) teve leves variações durante o percurso e obteve um valor mínimo de 7,80 nos *waypoints* 22, 26 e 33 e valor máximo de 8,10 no *waypoint* 1, com média de 7,89 e desvio padrão de 0,07 conforme mostrado na Figura 49.

Figura 49: Gráfico de pH x waypoint na Lagoa de Cajazeiras.

Fonte: Autor.

4.1.2 Lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira

A segunda missão autônoma oficial ocorreu na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira (latitude: -3.810681, longitude: -38.506945) no dia 15 de julho de 2017 (*ID Mission*: 20170715171002).

Os trajetos configurados e percorridos pelo barco são exibidos na Figura 50.

Figura 50: Coleta de dados na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.

Fonte: Adaptado de GoogleMaps (2017).

A missão iniciou-se às 21h15min e findou-se às 21h28min, totalizando 50 coletas. Na Tabela 10, exibe o número de coletas, seus valores máximos, mínimos, bem como a média e desvio padrão (DP) de cada parâmetro.

Como se pode observar na Tabela 10 a temperatura do ambiente teve um valor mínimo de 27,00 °C e máximo de 27,75 °C, tendo uma média de 27,11 °C e um desvio padrão de 0,21.

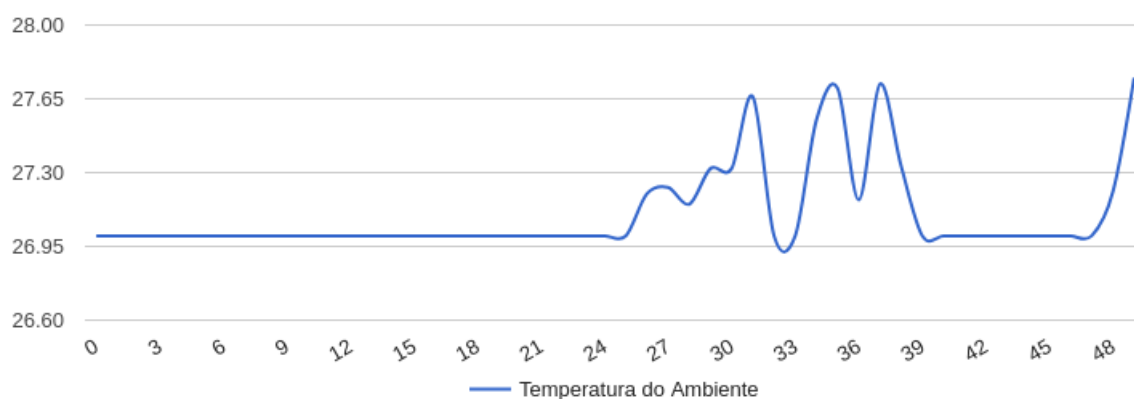
Tabela 10: Dados gerais de coletas na Lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira.

Parâmetro	Unidade	Coletas	Min	Max	Média	DP
Temperatura Ambiente	°C	50	27,00	27,75	27,11	0,21
Temperatura da Água	°C	50	28,00	28,73	28,05	0,12
Oxigênio Dissolvido (OD)	ppm	50	8,76	8,97	8,87	0,07
Potencial Oxi-redução (ORP)	mV	50	32,60	51,50	38,45	4,52
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	50	7,50	7,80	7,64	0,06

Fonte: Autor.

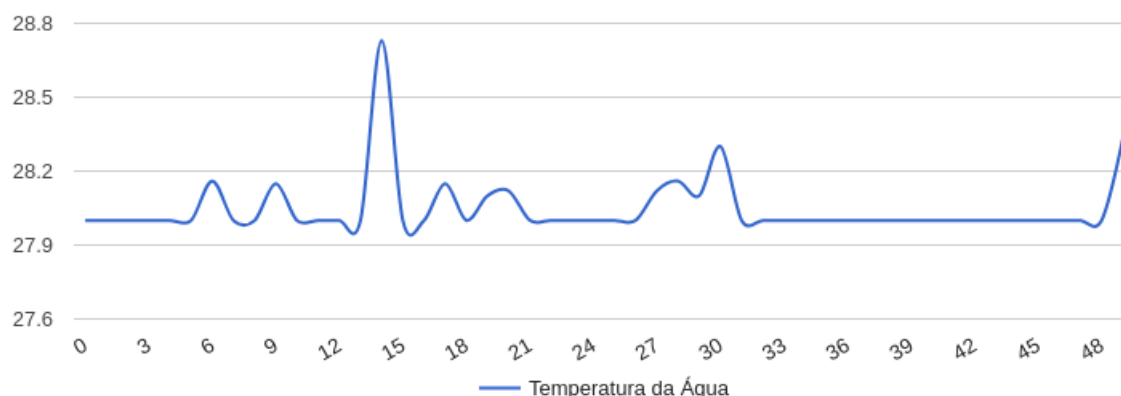
Na Figura 51 são mostradas as variações de temperatura do ambiente durante o percurso dos 50 *waypoints*. Pode-se observar uma variação brusca a partir do *waypoint* 25 até o *waypoint* 39, com uma leve variação no *waypoint* 48 tendo uma crescente a partir do *waypoint* 49.

Figura 51: Gráfico de temperatura do ambiente x *waypoint* na Lagoa Jardins Alice e Pereira.



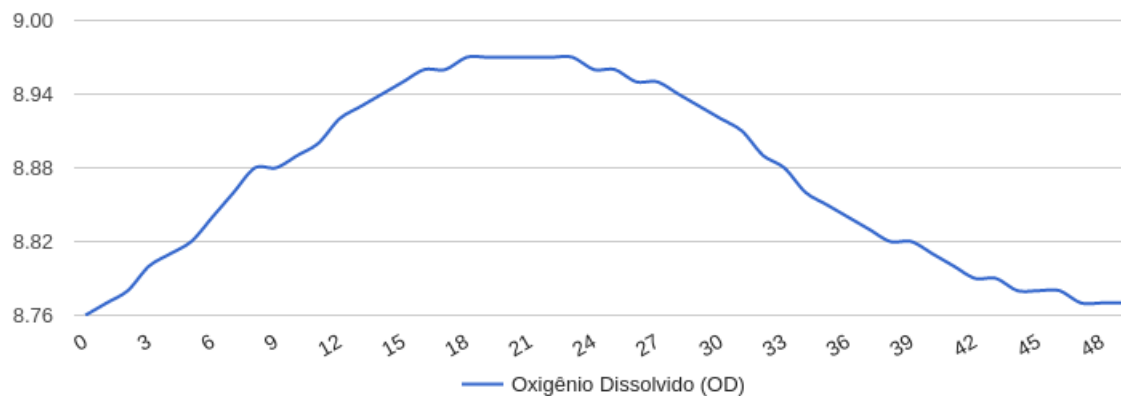
Fonte: Autor.

Com relação a temperatura de água teve um valor mínimo de 28,00 °C e máximo de 28,73 °C, tendo uma média de 28,05 °C e desvio padrão de 0,12. Durante o trajeto houve algumas pequenas variações, sendo a maior delas no *waypoint* 14, conforme mostrado na Figura 52.

Figura 52: Gráfico de temperatura da água x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.

Fonte: Autor.

O valor do Oxigênio Dissolvido (OD) teve um valor mínimo de 8,76 ppm e máximo de 9,97 ppm, tendo uma média de 8,87 ppm e desvio padrão de 0,07. Durante o trajeto houve um crescimento discreto chegando ao valor máximo 9,97 ppm no *waypoint* 21 (onde há um aerador) e um decréscimo a partir dele chegando a 8,76 ppm quando o barco retornou para o *waypoint* inicial conforme mostrado na Figura 53.

Figura 53: Gráfico de OD x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.

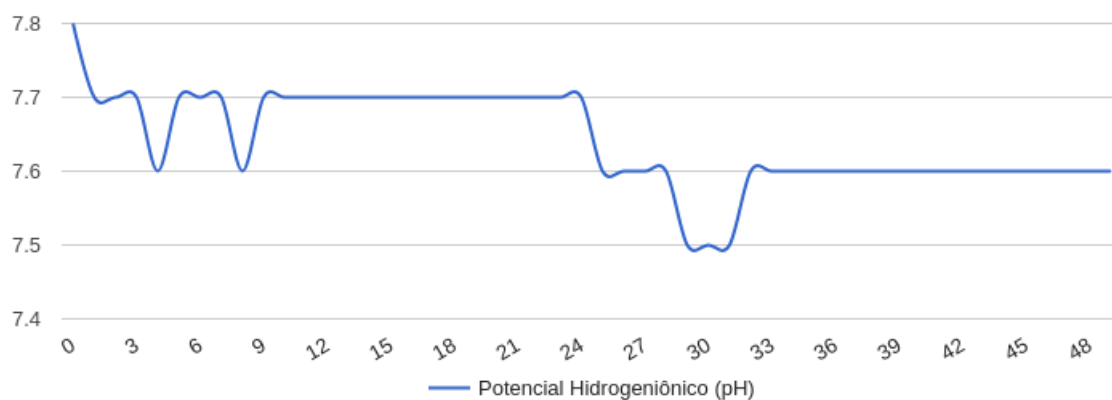
Fonte: Autor.

O Potencial de Oxirredução (ORP) obteve valores bastante dispersos em determinadas regiões da lagoa, cujo valor mínimo foi de 32,60 mV nos *waypoints* 42 a 48 e máximo de 51,15 mV no *waypoint* 2, com média de 38,45 mV e desvio padrão de 4,52 conforme mostrado na Figura 54.

Figura 54: Gráfico de ORP x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.

Fonte: Autor.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) teve leves variações durante o percurso e obteve um valor mínimo de 7,5 no *waypoint* 30 e valor máximo de 7,8 no *waypoint* 1, com média de 7,6 e desvio padrão de 0,06, conforme mostrado na Figura 55.

Figura 55: Gráfico de pH x waypoint na Lagoa Jardins Alice e Pereira.

Fonte: Autor.

4.1.3 Açude Piripau

A terceira missão autônoma oficial ocorreu no açude Piripau (latitude: -3.804706, longitude: -38.509811) no dia 16 de julho de 2017 (*ID Mission*: 20170715184640). Os trajetos configurados e percorridos pelo barco são exibidos na Figura 56.

Figura 56: Coleta de dados no açude Piripau.



Fonte: Adaptado de GoogleMaps (2017).

A missão iniciou-se às 13h03min e findou-se às 13h36min, totalizando 45 coletas. Na Tabela 11 são exibidos o número de coletas, seus valores máximos, mínimos, bem como a média e desvio padrão (DP) de cada parâmetro.

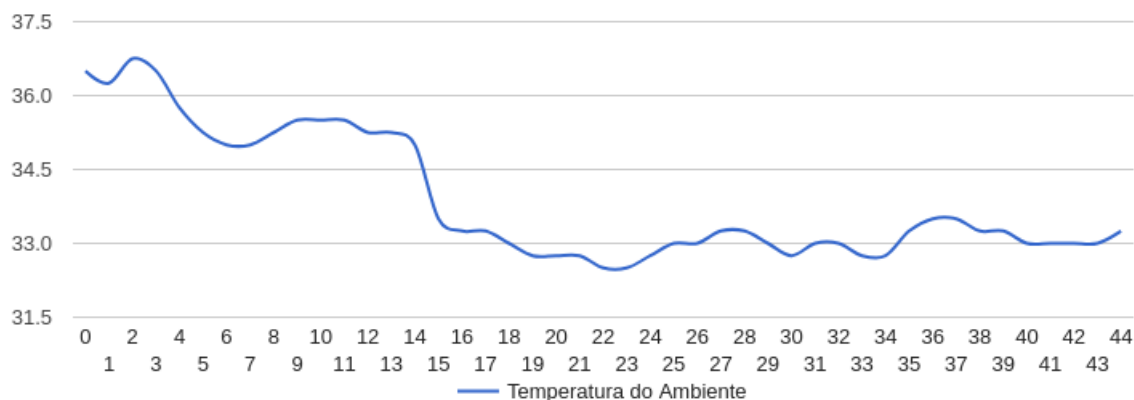
Tabela 11: Dados gerais de coletas no açude Piripau.

Parâmetro	Unidade	Coletas	Min	Max	Média	DP
Temperatura Ambiente	°C	45	32,50	36,75	33,89	1,29
Temperatura da Água	°C	45	28,00	28,25	28,04	0,09
Oxigênio Dissolvido (OD)	ppm	45	7,31	7,86	7,56	0,20
Potencial Oxi-redução (ORP)	mV	45	213,50	253,40	241,01	9,81
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	45	5,70	6,50	5,93	0,21

Fonte: Autor.

Como se pode observar na Tabela 11 a temperatura do ambiente teve um valor mínimo de 32,50 °C e máximo de 36,75 °C, tendo uma média de 33,89 °C e desvio padrão de 1,29. Na Figura 57 mostra as variações de temperatura durante o percurso dos 45 waypoints. Pode-se observar uma variação decrescente a partir do waypoint 14.

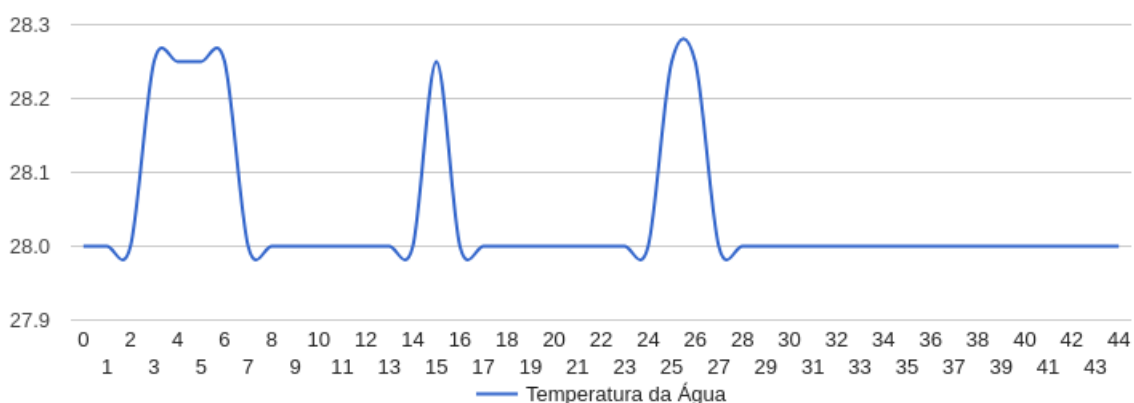
Figura 57: Gráfico de temperatura do ambiente x waypoint no açude Piripau.



Fonte: Autor.

Com relação a temperatura de água teve um valor mínimo de 28,00 °C e máximo de 28,25 °C, tendo uma média de 28,04 °C e desvio padrão de 0,09. Durante o trajeto houve algumas pequenas variações, sendo que a partir do waypoint 28 seu valor passou a ser constante, conforme mostrado na Figura 58.

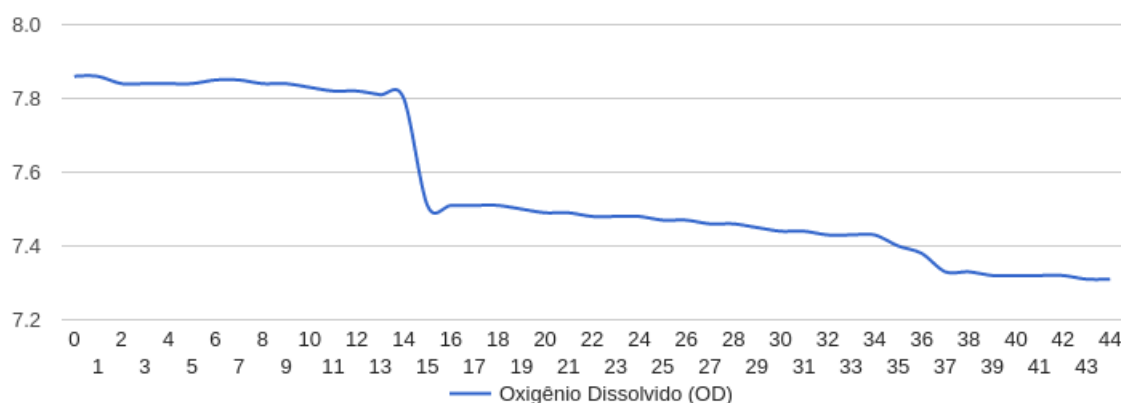
Figura 58: Gráfico de temperatura da água x waypoint no açude Piripau.



Fonte: Autor.

O valor do Oxigênio Dissolvido (OD) teve um valor mínimo de 7,31 ppm e máximo de 7,86 ppm, tendo uma média de 7,56 ppm e desvio padrão de 0,20. Durante o trajeto houve um decréscimo discreto chegando ao valor mínimo 7,31 ppm no *waypoint* 44, conforme mostrado na Figura 59.

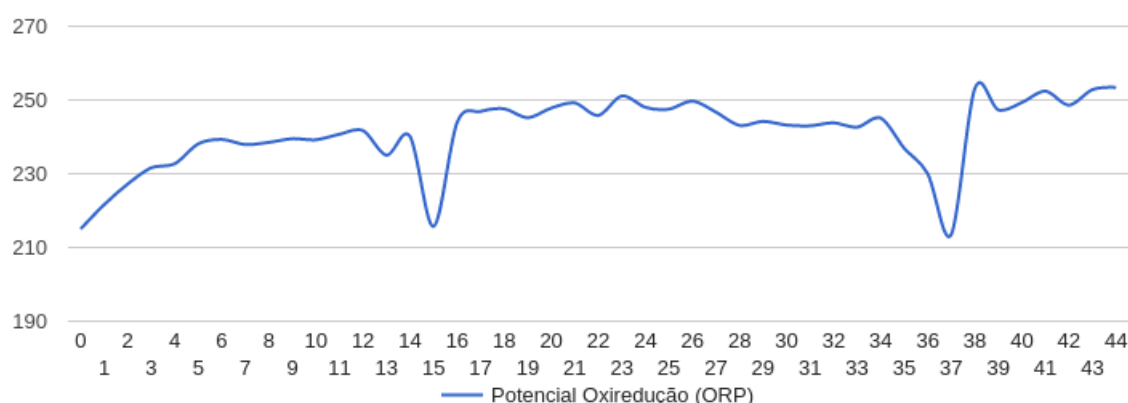
Figura 59: Gráfico de OD x *waypoint* no açude Piripau.



Fonte: Autor.

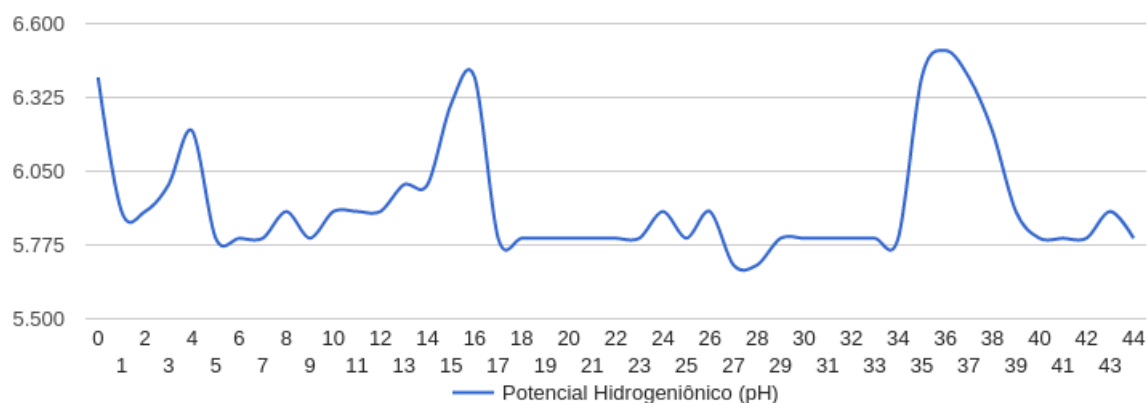
O Potencial de Oxirredução (ORP) obteve valores bastante dispersos em determinadas regiões da lagoa, cujo valor mínimo foi de 213,50 mV nos *waypoints* 0, 15 e 37 e máximo de 253,40 mV no *waypoint* 38, com média de 241,01 mV e desvio padrão de 9,81 conforme mostrado na Figura 60.

Figura 60: Gráfico de ORP x *waypoint* no açude Piripau.



Fonte: Autor.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) obteve muitas variações durante o percurso e com um valor mínimo de 5,70 no *waypoint* 27 e valor máximo de 6,50 no *waypoint* 36, com média de 5,93 e desvio padrão de 0,21 conforme mostrado na Figura 61.

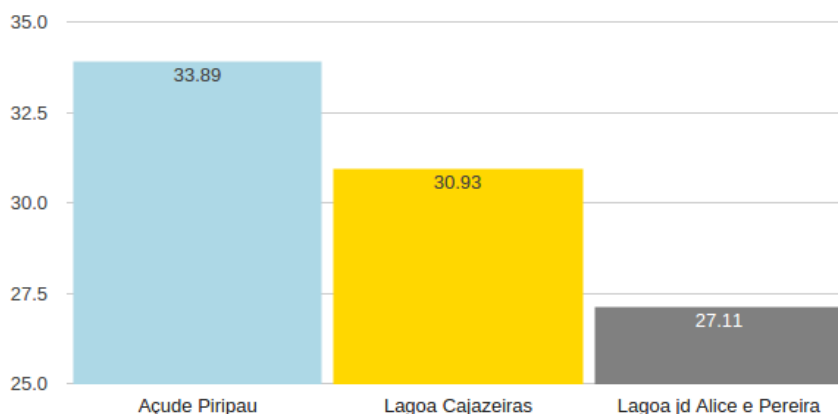
Figura 61: Gráfico de pH x waypoint no açude Piripau.

Fonte: Autor.

4.2 Análise comparativa entre as lagoas

Diante dos dados apresentados pode-se fazer algumas análises com relação a situação geral das lagoas comparando a média de cada tipo de dado coletado entre as demais.

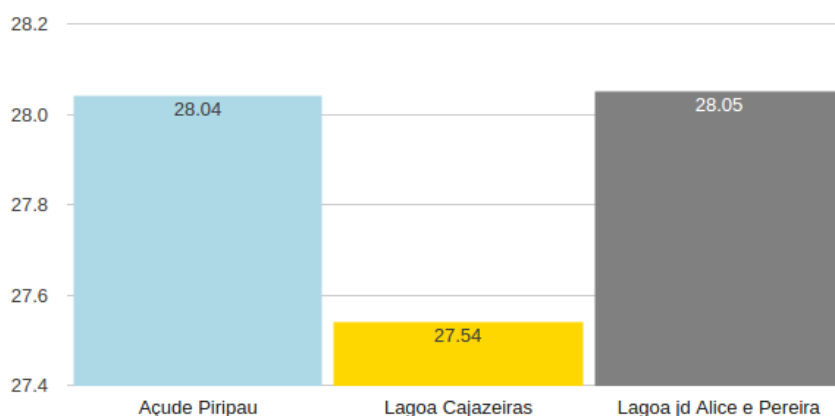
Os valores das médias de temperatura do ambiente variaram bastante conforme a localidade e o período do dia. O Açude Piripau, na beira da serra de Pacatuba apresentou um valor mais elevado (33,89 °C após as 13h) por estar localizado numa região de barlavento. A lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira obteve um valor menor em decorrência do horário de coleta (27,11 °C após as 21h). A Lagoa de Cajazeiras obteve um valor de 30,93 °C após as 09h50min. Na Figura 62 são mostradas as médias de temperatura do ambiente nas 3 lagoas analisadas.

Figura 62: Comparativo da temperatura do ambiente das lagoas.

Fonte: Autor.

A média da temperatura da água obteve resultados divergentes em duas situações: enquanto na Lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira seu valor era maior no período da noite que a temperatura Ambiente (28,05 °C), na Lagoa de Cajazeiras e no Açude Piripau os valores foram menores durante o dia, com valores 27,54 °C e 28,04 °C respectivamente. Na Figura 63 são mostradas as médias de temperatura da água nas 3 lagoas analisadas.

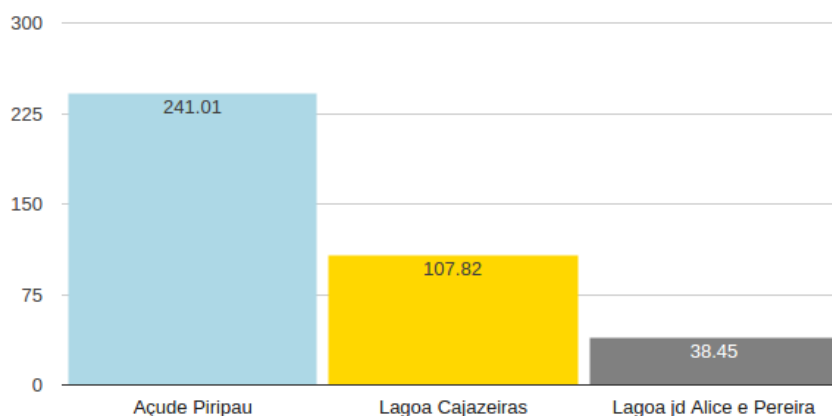
Figura 63: Comparativo da temperatura da água das lagoas.



Fonte: Autor.

O Potencial de Oxirredução teve uma média bem acentuada no Açude Piripau em relação as outras duas lagoas, chegando a média de 241,01 mV, enquanto que na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira seu valor foi de 38,45 mV. Na lagoa de Cajazeiras seu valor foi de 107,82 mV. Isso se deve ao elevado índice de oxigênio atmosférico e a disponibilidade de nutrientes para as comunidades aquáticas, o que foi observado pela presença de aguapés *in loco*. Na Figura 64 são mostradas as médias de ORP nas 3 lagoas analisadas.

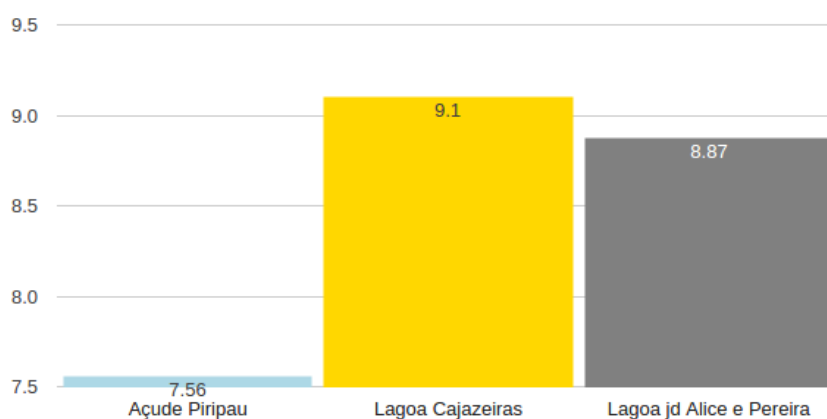
Figura 64: Comparativo de ORP das lagoas.



Fonte: Autor.

O Oxigênio Dissolvido obteve um valor maior na Lagoa de Cajazeiras com 9,1 ppm, no Açude Piripau foi de 7,56 ppm, enquanto na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira seu valor foi de 8,87 ppm. A quantidade de oxigênio dissolvido presente nos corpos d'água é diretamente proporcional à pressão atmosférica e inversamente proporcional à temperatura como observado na lagoa de Cajazeiras, com um valor maior e no açude Piripau obtendo um valor menor. Na Figura 65 são mostradas as médias de OD nas 3 lagoas analisadas.

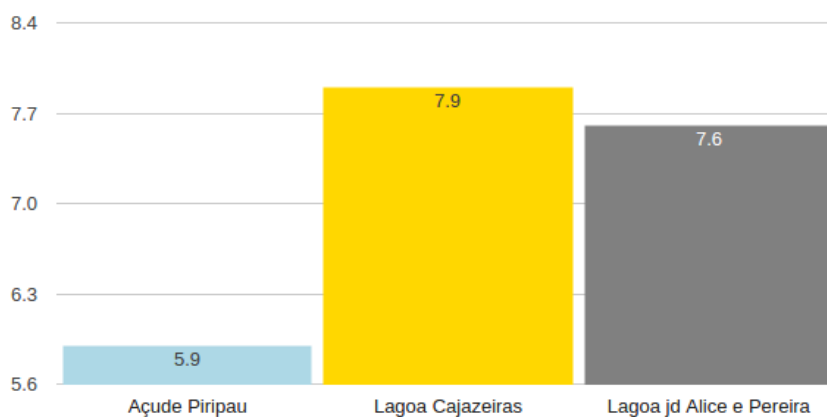
Figura 65: Comparativo de OD das lagoas.



Fonte: Autor.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) obteve um valor de 5,9 no Açude Piripau e 7,9 na Lagoa de Cajazeiras. Na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira seu valor foi de 7,6. Isso se deve a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, a oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, como se pode observar na lagoa de Cajazeiras onde o valor foi maior e no açude Piripau, no pé da serra, onde esse valor foi menor. Na Figura 66 são mostradas as médias de pH nas 3 lagoas analisadas.

Figura 66: Comparativo de pH das lagoas.



Fonte: Autor.

4.2.1 **Discussões e conclusão do Capítulo**

As lagoas também são fonte de alimento para muitas pessoas além de sustento para algumas famílias. Sua conservação é importante tanto para quem usufrui dos recursos naturais, quanto para a vida subaquática.

Um fator determinante para a medição da qualidade da água são termotolerantes ou coliformes fecais, que são bactérias encontradas geralmente em fezes humanas e de animais homeotérmicos; ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (CONAMA, 2005). Dessa forma as características biológicas da água estão relacionadas as termotolerantes, porém sua análise costuma ser demorada e cara.

Atualmente a Agência Nacional de Águas (ANA), monitora apenas 1.340 pontos em todo o país, em que são feitas análises de alguns parâmetros básicos como pH, oxigênio dissolvido e temperatura (ANA, 2016). Além da ANA, o monitoramento é realizado por uma variedade de órgãos estaduais de meio ambiente e recursos hídricos, companhias de saneamento e empresas do setor elétrico (PQNA, 2011). Esses parâmetros de análise da qualidade da água são obtidos automaticamente por meio de sondas multiparamétricas, que são postas em contato com a água, não necessitando, porém, de um coleta de amostra de água, transporte e análise laboratorial. Mesmo com os equipamentos que realizam testes de potabilidade da água feita através da análise de parâmetros bacteriológicos, atualmente muitos pesquisadores estão utilizando o oxigênio dissolvido, como parâmetro principal para a análise da qualidade da água. A quantidade de oxigênio dissolvido (OD) pode indicar potenciais problemas no corpo d'água dependendo de seu ecossistema. o OD juntamente com outros parâmetros medidos pelos equipamentos eletrônicos podem ser utilizados, também, para medir a balneabilidade (SILVA; PIROLI; HERNÁNDEZ, 2014).

Segundo PQNA (2011) não existem procedimentos padronizados de coleta, como frequência de coleta e análise das informações. A falta de padronização do número de pontos de coleta pode ocasionar uma variabilidade significativa na análise geral da lagoa entre os resultados calculados e os efetivamente existentes. Dessa forma é importante que seja realizado um planejamento dos pontos de coleta que possam, efetivamente, representar a lagoa ou boa parte dela. A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) criou o Manual de Procedimentos de Coleta (MPC) e Metodologias de Análise de Água (MAAA), onde as variáveis, os tipos de amostras, a

frequência de amostragem e a localização de estações de coleta devem ser definidos cuidadosamente de acordo com os objetivos (CEMIG, 2009).

O MPC e MAA diferenciam a qualidade da água de acordo com sua utilização (Padrões de Qualidade). Dessa forma é possível estabelecer o nível tolerado de contaminantes e as atividades permitidas ou não recomendáveis para aquele corpo d'água. Dessa forma há certos cuidados relacionados ao manuseio e contato com águas desconhecidas. A Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA) definiu e classificou os danos à saúde humana causados pelo contato com a água em A - Probabilidade alta de doença desconhecida de veiculação hídrica ou de contato com materiais corrosivos; B - Possível faixa de riscos desconhecidos; C - Possíveis riscos de veiculação hídrica, que podem ser identificados; D - Baixa probabilidade de risco ou nenhum suspeito conhecido de veiculação hídrica. Isso posto, equipamentos de proteção de extrema importância para o contato com amostras em ambientes contaminados. Devido a certos riscos que a coleta e próprio ambiente proporciona, devido a repetitividade do procedimento; geralmente são coletadas poucas amostras, as quais são utilizadas para representar todo o corpo d'água, colocando em contestação os dados analisados.

Além disso, boa parte do orçamento de um programa de monitoramento ambiental trata do processo de coleta, que vai desde o planejamento prévio e detalhado: transporte, coleta *in loco*, análise laboratorial até a sua conclusão. Segundo o MPC e MAA (2009) a coleta das amostras de água deve ser feita por pessoas devidamente treinadas em técnicas de amostragem e procedimentos de campo. O frequente manuseio da amostra e seu mal condicionamento é um forte indício de erros no procedimento.

Visando garantir a segurança do processo de coleta e a determinação dos valores de análise dos parâmetros de qualidade da água, a solução hipotética para diminuir esse risco foi a construção de um mini-barco autônomo configurável por software embarcado, dotado de sensores de prova para realizar a análise em vários pontos determinados (*waypoints*) com maior eficiência e segurança, além de um tempo de permanência *in loco* menor, proporcionando uma agilidade e aumentando o número de lagoas analisadas durante o período de um processo de coleta manual.

Nos experimentos realizados o Aerobarco Vector analisou 2 lagoas e 1 açude; realizou 130 coletas e análises de dados e gerou 15 gráficos. O tempo total das missões foi de 54min e 25s nas 3 lagoas, resultaram nas seguintes análises:

- **Oxigênio Dissolvido** - Parâmetro indicador de eutrofização por poluição doméstica ou industrial da água (ANA, 2004). Valores abaixo de 6 mg/l são indicadores de elevada carga de nutrientes como nitrogênio e fósforo (DERISIO, 2013), enquanto águas com crescimento excessivo de algas e macrófitas apresentam valores superiores a 10 mg/L no período diurno e concentração perto de zero à noite (PAULO, 2009). Em nenhuma das lagoas analisadas obteve-se a média com estes valores:
- **Potencial Hidrogeniônico** - Concentração de íons H^+ na água que indica a intensidade da acidez, neutralidade ou alcalinidade. A Resolução 357 do CONAMA estabelece para água doce de todos os usos a faixa de 6 a 9 (BRASIL, 2004). O Açude Piripau apresentou uma média de 5,93, indicando um caráter mais ácido em relação as outras duas lagoas analisadas. O pH baixo dos efluentes (<7.0) pode ocorrer devido a sobrecarga orgânica e condições de baixo nível de oxigênio, ou à nitrificação, quando a alcalinidade da lagoa (capacidade de tampão) é baixa (ECOBACTERIAS, 2016). Para Metcalf (2003) as bactérias, por exemplo, não suportam pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0, sendo a faixa de pH ideal para sua existência situada entre 6,5 e 7,5.
- **Temperatura** - Medida da intensidade de calor que influencia na solubilidade de gases na água. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30 °C, variáveis como: viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (PAULO, 2009). Na lagoa de Cajazeiras e açude Piripau foram registrados médias da temperatura ambiente acima de 30 °C, sendo 30,93 °C e 33,89 °C, respectivamente. Para as médias de temperatura da água esses valores ficaram abaixo de 30 °C.
- **Potencial de Oxirredução** - é a representação de alterações no estado de oxidação de íons ou nutrientes, estando relacionado à solubilidade de metais e a disponibilidade desses nutrientes para as comunidades aquáticas (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Vale ressaltar que a Resolução CONAMA 357 não estabelece padrões mínimos ou máximos para potencial redox das águas.

O projeto físico do aerobarco Vector apresentou-se uma opção de custo reduzido para a análise autônoma de parâmetros da qualidade da água. Apesar da maioria dos projetos de barcos autônomos não realizarem análise o *Unmanned Airboat* foi o único que apresentou características de sensores superiores ao utilizado no Vector. Embora o *Unmanned Airboat* não utilize um mapa no *software* para definir as coordenadas de navegação e sim, um *path*, de distâncias pré-definidos, o aerobarco Vector tem uma vantagem, pois permite o operador ter uma flexibilidade e orientação espacial na escolha dos pontos de trajeto de forma dinâmica, possibilitando, assim, um controle mais eficiente no trajeto em virtude de possíveis obstáculos na água, como troncos e aguapés. A Tabela 12 relaciona as características dos barcos com o desenvolvido neste trabalho.

Tabela 12: Tabela comparativa das características dos barcos com o desenvolvido neste trabalho.

Barco autônomo	<i>Beagle-B</i>	ALANIS	ARC	<i>Unmanned airboat</i>	VECTOR
Propulsão elétrica	x	x		x	x
Propulsão a vento			x		
Comunicação WIFI		x		x	x
Com. Modem/ GSM	x	x			
Câmera IP				x	
Med. de pH				x	x
Med. de OD				x	x
Med. de CE				x	
Med. de turbidez				x	
Med. de temperatura				x	x
Med. de profundidade				x	
Med. de NO ₃				x	
GPS	x	x	x	x	x
IMU	x	x	x	x	x
Painel Solar	x				
Baterias	x	x	x	x	x
Combustível		x		x	
Vela sólida	x		x		
Sensor de dir. de vento	x	x	x		

Fonte: Autor.

Dos modelos apresentados somente o ARC não tem propulsão elétrica. A forma de comunicação *WIFI* está presente nos modelos *ALANIS* e *Unmanned Airboat*. A medição de parâmetros de pH, OD e temperatura estão presentes apenas no modelo *Unmanned Airboat*. Todos os modelos utilizam GPS e IMU para controle de direção autônoma bem como baterias.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Nesta dissertação é proposta o desenvolvimento de um barco robótico e construção de um sistema de análise de água com eficiência em seu processo visando uma coleta de muitos pontos com tempo e custo reduzido. Primeiramente o *software* embarcado no barco é carregado em algum dispositivo computadorizado dotado de conexão *wifi*, logo após a missão é nomeada e os pontos de trajetos são determinados pelo operador. Uma vez feita essas configurações o barco é posto na água e acionado remotamente para iniciar a missão de forma autônoma, fazendo as análises físico-químicas da água e armazenando no banco de dados associado a suas coordenadas de Latitude e Longitude. Ao término da missão o barco retorna, desliga o aeromotor automaticamente e o operador poderá gerar relatórios com os dados coletados.

O sistema utiliza componentes de comum aquisição, como papelão e fibra de vidro, bem como *hardware* e *software* de código aberto Arduino e um minicomputador *Raspberry pi*, o que proporcionou uma fácil integração e modificação do *software* e *firmware* durante os testes de verificação e validação. Na primeira foi construído o casco do barco e foi verificada a flutuabilidade.

Na segunda etapa foi levantado o material de hardware necessário para controle eletrônico e mecânico do barco. Foram adquiridos sensores de medição de parâmetros da água, onde nessa etapa foram feitas a calibração dos sensores Atlas utilizando a plataforma Arduino, ocorrendo de forma satisfatória com base nos valores das suas soluções de calibração com pequenas variações de ± 2 pontos. Em seguida foram feitos testes com o IMU, GPS, servo do leme, aeromotor e sensor de temperatura na placa *Raspberry Pi*. Nessa fase foi desenvolvido o protocolo de comunicação do ATLAS MODULE.

Na terceira etapa foi desenvolvido o *software* de controle com acesso a banco de dados, o que proporcionou uma maior controle e monitoramento das funcionalidades do barco, desde a configuração da missão até a geração de relatórios.

Para os testes iniciais, o sistema foi operado de forma remota e manual, onde o trajeto era aleatório e determinado durante a missão. Durante o trajeto o barco efetuava as análises e as armazenava em banco de dados. Logo em seguida os relatórios foram validados de forma a gerar gráficos dos pontos coletados.

Após os testes iniciais, foi desenvolvido o algoritmo de navegação por GPS, assim o barco passou a navegar de forma autônoma efetuando as coletas, armazenando em Banco de Dados e associando cada *waypoint* as coordenadas GPS gerando relatórios mais completos incluindo a trajetória programada *versus* a trajetória efetuada.

De uma forma geral, pode-se dizer que o protótipo obteve um bom resultado para a análise automática em campo para fornecer dados relevantes sobre a situação da lagoa. As principais contribuições deste trabalho são, além dos benefícios explícitos da coleta e análise de dados, esse sistema ajuda a entender o bioma e o comportamento dos animais aquáticos em relação à poluição da água de forma precisa. Automatiza a atividade do operador, visto que o mesmo, as vezes, não dispõe de recursos, a falta de cuidado numa manipulação dos recipientes de coleta, uma segurança na logística e a dispensa da reserva de serviços laboratoriais - que deve estar disponível para o dia da coleta, bem como o aumento considerável do número de pontos avaliados, tendo, dessa forma uma melhor avaliação da lagoa.

Como sugestão para trabalhos futuros sugere-se a adição mais sensores, como um Batímetro para estudo e mapeamento da profundidade dos aquíferos, podendo ser gerado um mapa 3D para estudos de assoreamento, bem como a inclusão de sistemas de comunicação 3G ou via Satélite, cujo os dados podem ser enviados para a rede mundial de computadores Internet (*Cloud*), proporcionando uma taxa de atualização remota da análise da água em qualquer lugar do Mundo (*IoT*). Pode ser incorporado ao barco um sistema de comportas mecanizado de forma coletar amostras de água em pequenos reservatórios para uma análise posterior e mais minuciosa como coliformes fecais, onde demanda um processo mais demorado no cultivo de culturas em laboratório tendo o seu resultado saindo em alguns dias.

Referências Bibliográficas

ABERYSTWYTH, University of. 2008. University of Aberystwyth. Disponível em: <<https://www.aber.ac.uk/en/cs/research/ir/robots/beagle-b/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

ACPSALES. **Manta de fibra de vidro**. 2016. Disponível em: <<http://www.acpsales.com/>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

ALLDATASHEET. **Electronic Components Datasheet Search**. 2016. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

ALLMENDINGER, E. **Submersible Vehicle Systems Design**. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1990.

ALVAREZ, B.; IBORRA, A.; PASTOR, J. A.; FERNÁNDEZ, C.; ALONSO, A.; PUENTA, J. A. e de la. Software architecture for development of mechatronic systems: Service robots. **Dedicated Systems Magazine**, v. 4, p. 17 – 22, 2001. Vol.4 p. 17–22.

AMORIN, F.A. S.; ALHO, A.T.P; FRADE, P.R.T; WILLIAMS, M.S. Navegação a vela como uma ferramenta educacional para o curso de engenharia naval. COPPE – UFRJ, 2015. Disponível em: <<http://www.pp.ufu.br/trabalhos/58.pdf>>.

ANA. **Agência Nacional das Águas. Programa Nacional de Acreditação de Laboratórios em Análises da Qualidade da Água**. 2004. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/downloads/acreditacao_ana.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2016.

_____. **Agência Nacional de Águas**. 2016. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/acessoainformacao/perguntasfrequentes.aspx>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

ARDUINO. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

ATLAS-SCIENTIFIC. **Fritzing electronics made easy**. 2016. Disponível em: <<https://www.atlas-scientific.com/>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

AUTOBOTIC. 2017. Disponível em: <<https://www.autobotic.com.my/robot-servo-rds3115-metal-gear-digital-servo-180-degree>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

BAGGIO, M. **LocBus Sistema de Rastreamento de Transportes Coletivos**. Monografia (monografia de Engenharia Elétrica) — UFPR, CURITIBA, 2011. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/168.pdf>>.

BRAGA, B.; HESPANHOL, B.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasil: Pearson, 2005.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria 518 de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. Brasília, 2004.** 2004.

CACCIA, M.; BIBULI, M.; BONO, R.; BRUZZONE, G.; SPIRANDELLI, E. Aluminum hull usv for coastal water and seafloor monitoring. **OCEANS 2009 - EUROPE**, IEEE, p. 1 –5, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5278309/>>.

Calister, JR. and William, D. **Ciência e Engenharia dos. Materiais: Uma Introdução, 1a ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CEMIG. **Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água.** 2009. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).** 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

_____. **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).** 2015. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ybtg8o7g>>. Acesso em: 17 ago. 2016.

CRUZ, Nuno A.; ALVES, José C. Auto-heading controller for an autonomous sailboat. INESC Porto and FEUP–DEEC, 2010. Disponível em: <http://oceansys.fe.up.pt/publications/2010_CruzAlves.pdf>.

CTI. **Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - CTI.** 2017. Disponível em: <<https://www.cti.gov.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** São paulo: Signus Editora, 2013.

EBOAT. **Navegação a Vela.** 2015. Disponível em: <<http://www.eboat.com.br/nautica/download/navegacao.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

ECOBACTERIAS. **Resolver problemas de tratamento das lagoas de efluentes.** 2016. Disponível em: <<http://www.ecobacterias.com/resolver-problemas-de-tratamento-das-lagoas-de-efluentes/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

ELECTRONICOSCALDAS. **Electronicos Caldas.** 2017. Disponível em: <<http://www.electronicoscaldas.com>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

FARREL, J. A.; BARTH, M. **The global positioning system and inertial navigation**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1998.

FAZANELLI, Migueis. **Barcos de Alta Performance, Métodos de Construção**. 2008. Disponível em: <<http://www.arqnav.com.br/construcao.html>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

FERNANDES, Diogo R.; NETO, Vicente B.; MATTOS, Maria da Costa. Viabilidade econômica do uso da água da chuva: Um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN / RN. In: . Foz do Iguaçu PR, Brasil: ENEGEP, 2007. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/acessoainformacao/perguntasfrequentes.aspx>>.

FIGUEIREDO, L.J.; GAFANIZ, A.R. **Aplicações de Acelerômetros**. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico, 2007.

FOUR, R.; RAMOUTAR, E.; ROMEO, J.; COPELAND, B. Operational characteristics of brushless dc motors. University of the West Indies, St. Augustine, Trinidad, p. 15, 2007. Disponível em: <<https://tinyurl.com/ya9sxw9n>>.

FREIRE, Estevão; MONTEIRO, Elisabeth E. C.; CYRINO, Julio C. R. Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Instituto de Macromoléculas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 25 – 32, 1994. Disponível em: <<http://www.revistapolimeros.org.br/PDF/v4n3/v4n3a02.pdf>>.

FRITZING. **Fritzing electronics made easy**. 2016. Disponível em: <<http://fritzing.org/home/>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

FUZINATTO, C. F. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água**. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92241>>.

GELB, A. **Applied optimal estimation**. Massachusetts: MIT Press, 1974.

GLOBALSAT. **GlobalSat WorldCom Corporation**. 2017. Disponível em: <<http://www.globalsat.com.tw/>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

GOOGLEMAPS. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

HOBBYKING. 2017. Disponível em: <<http://hobbyking.com>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

HOLANDA, Guilherme Costa; NETO, Edson Cavalcanti; VARELA, Antonio Themoteo; ARAÚJO, André Luiz Carneiro de; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. Sistema de medição de distância para robôs móveis utilizando algoritmo surf e visão estéreo. **CONNEPI**, Brasil, 2010.

ICSTATION. **Mega Sensor Shield**. 2016. Disponível em: <<http://www.icstation.com>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

ISCCOMPANIES. **DC Motors**. 2016. Disponível em: <<https://isccompanies.com/parts-distribution/motors/dc-motors/>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

KAIZU, Yutaka; IIO, Munetaka; YAMADA, Hiroyuki; NOGUCHI, Noboru. Development of unmanned airboat for water-quality mapping. **Biosystems Engineering**, ELSEVIER, v. 109, n. 4, p. 338–347, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011000778#!>>.

KLEMPPOUS, R.; LYSAKOWSKA, B.; NIKODEM, J. A data acquisition and processing system. **Africon**, 1999 **IEEE**, IEEE, v. 1, p. 549–552, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/820960/>>.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Brasil: Átomo, 2005.

LIMA, F. de S.; CORDEIRO, L. C.; SOUZA, R. C. R. III congresso brasileiro de planejamento energético - CBPE. In: **Sistema de monitoramento a distância para unidade de célula a combustível**. Curitiba – PR: [s.n.], 2012. p. 1–12. Disponível em: <<https://ssvlab.github.io/lucascordeiro/papers/sbpe2012.pdf>>.

LOGAR, J. **Interpretação de Análises Químicas de Águas**. Recife: U. S. Agency for International Development, 1995.

MARQUES, Edmundo Alberto. **Sistema de Navegação Inercial GPS/INS de baixo custo com compensação de erros por redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado) — INPE, São José dos Campos, 2011. Tese de Doutorado. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/11.07.22.08/doc/publicacao.pdf>>.

MAXIM. **Maxim Integrated Products**. 2016. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

MAYER, J. S.; WASYNCZUK, O. Analysis and modeling of a single-phase brushless dc motor drive system. **Transactions on Energy Conversion**, IEEE, v. 4, n. 3, p. 473–479, 1989. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/43251/>>.

MENEZES, Luciano. **Desenvolvimento de um Sistema de controle de missão através das redes de Petri**. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) — COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y8ppsocl>>.

METCALF, Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. New York: McGraw – Hill Book, 2003.

MPC; MAA. **Manual de Procedimentos de Coleta e Metodologias de Análise de Água**. 2009. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y7strpk7>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

NASSEH, J. **Selecionando fibras de vidro. Guia do Construtor**. 2015. Disponível em: <<http://www.acobar.org.br/index.php/guia-do-construtor/guia-do-construtor>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

NEAL, M. A hardware proof of concept of a sailing robot for ocean observation. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, IEEE, v. 31, n. 2, p. 462–469, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1707993/>>.

NEHMZOW, Ulrich. **Mobile Robotics: A Practical Introduction**. London: Springer, 2003. 2. ed.

NETO, A. Rios; HEMERLY, E. M. **Observadores de estado e filtro de Kalman**. LOCAL: Enciclopédia de automática: controle e automação, 2007.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Brasil: Edgard Blucher, 2003.

OLIVEIRA, P.; PASCOAL, A.; SILVA, V.; SILVESTRE, C. Design, development, and testing at sea of the mission control system for the marius autonomous underwater vehicle. **OCEANS '96. MTS/IEEE. Prospects for the 21st Century. Conference Proceedings**, IEE, v. 1, p. 401–406, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/572781/>>.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**, Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v. 12, n. 2, p. 537–556, 2012. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/943/918>>.

PAULO, CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São. **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. 2009. Acesso em: 27 ago. 2016.

PEREIRA, Jonas. **Avaliação e Correção do Modelo Cinemático de Robôs Móveis Visando a Redução de Erros no Seguimento de Trajetórias**. Dissertação (Curso de Mestrado Em Automação Industrial, Centro de Ciências Tecnológicas, Udesc) — Pontifícia Universidade de São Paulo, Joinville, 2003.

PÊTRÈS, M.-A. C.; ROMERO-RAMIREZ, F. Plumet. A potential field approach for reactive navigation of autonomous sailboats. **ELSEVIER**, Science direct, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889012001364>>.

PQNA. **Portal da Qualidade das Águas**. 2011. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/rede-nacional-padronizacao.aspx>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

PSF. **Portal São Francisco. Barco a Vela**. 2015. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/curiosidades/barco-a-vela>>. Acesso em: 1 mar. 2016.

RASPBERRYPI. **Raspberry Pi B+**. 2017. Disponível em: <<http://raspberrypi.org>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

REIS, A. **Fibra de vidro: laminação e consertos na prática**. Scribd, 2008. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/3159263/Apostila-Fibra-de-Vidro>>.

RIBEIRO, J. M.; SANTOS, E. C. B. F. d.; OLIVEIRA, G. R.; MIRANDA, R. A.; RESENDE, I. T. F. Sistema de monitoramento e controle de um processo de distribuição de água, usando arduino e protocolo GSM. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 11143–11150, 2015. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y7twqcy4>>.

RODRIGUES, Diego Pereira. Técnicas de navegação. Departamento de Engenharia da Computação e Automação Industrial- UNICAMP, 2010. Disponível em: <http://www.dca.fee.unicamp.br/~gudwin/courses/IA009/artigos/IA009_2010_22.pdf>.

SAUZÉ, C.; NEAL, M. Design considerations for sailing robots performing long term autonomous oceanography. **Proceedings of The International Robotic Sailing Conference**, Cadair, p. 21–29, 2008. Disponível em: <<http://cadair.aber.ac.uk/dspace/handle/2160/643>>.

SCHULTZE, Hendrik J. **Projeto e construção de uma embarcação teleoperada**. Monografia (monografia de Engenharia Elétrica) — UERJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yblwxn9f>>.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSH, I. R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. Cambridge: The MIT Press, 2004.

SILVA, Priscila V.; PIROLI, Edson L.; HERNÁNDEZ, José E. G. Qualidade da água e turismo em bacias hidrográficas: o caso da microbacia do rio sucuri. AGB, Bonito-MS, XVIII, n. 1, p. 63–69, 2014. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y8f4ugt9>>.

SINNOT, R. W. Virtues of the haversine. **SAO/NASA ADS**, Sky & Telescope, v. 68, n. 2, p. 158, 1984. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1984S%26T....68R.158S>>.

SOARES, Ricardo R.; VIEIRA, Cristiane A. B.; FREIRE, Estevão; AMICO, Sandro C.; ZATETRA, Ademir J. Influência do tipo de fibra nas propriedades de compósitos processados por moldagem por transferência de resina. In: . Caxias do Sul, RS, Brasil: [s.n.], 2007. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/581.pdf>>.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

STUTTERS, L.; LIU, H.; TILTMAN, C.; BROWN, D. A survey of available underwater electric propulsion technologies and implications for platform system safety. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews**, IEEE, v. 38, n. 4, p. 581—589, 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4524846/>>.

THINGSPEAK. 2017. Disponível em: <<https://thingspeak.com/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TITTERTON, D. H.; WESTON, J. L. **Strapdown inertial navigation technology**. VA, USA: Reston, 2004.

TRINDADE, Rafael. **Estudo de máquinas elétricas não convencionais: Motor Brushless DC**. Monografia (monografia de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://tinyurl.com/y9hktm4a>>.

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

UNIPOWER. 2016. Disponível em: <www.unipower.com.br>. Acesso em: 17 abr. 2016.

VALLE, R. H. P. do; SILVEIRA, I. A. da. **Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: água**. Universidade Federal de Lavras: Textos Acadêmicos/FAEPE, 2000.

WINCHESTER, C.; GOVAR, J.; BANNER, J.; SQUIRES, T.; SMITH, P. A survey of available underwater electric propulsion technologies and implications for platform system safety. **Autonomous Underwater Vehicles**, Proceedings of the 2002 Workshop, p. 129—135, 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1177215/>>.

WOOD, Stephen; REES, Michelle; PFEIFFER, Zachary. An autonomous self-mooring vehicle for littoral & coastal observations. Aberdeen, UK, p. 19, 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4302216/>>.

YAZDI, N; AYAZI, F.; NAJAFI, K. Micromachined inertial sensors. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 86, n. 8, p. 1640—1659, 1998. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/704269/>>.

APÊNDICE A – Resultados gerais de coletas nas lagoas

Nas Tabelas 13 , 14 e 15 são mostrados todos os valores coletados de temperatura do ambiente, temperatura da água, OD, ORP, pH na lagoa de Cajazeiras utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Todos os valores são associados aos respectivos *waypoints* e suas coordenadas latitude e longitude.

Tabela 13: Tabela de coletas na lagoa de Cajazeiras

WP	Latitude	Longitude	T amb	T água	OD	ORP	PH
1	-3.804295	-38.509706	32,00	27,75	8,93	110,80	8,10
2	-3.804310	-38.509655	31,75	27,75	8,96	112,50	8,10
3	-3.804251	-38.509575	31,25	27,50	8,99	112,90	8,00
4	-3.804200	-38.509478	31,00	27,50	9,01	111,30	7,90
5	-3.804178	-38.509388	30,75	27,50	9,02	111,20	7,90
6	-3.804178	-38.509305	30,50	27,50	9,04	111,60	7,90
7	-3.804220	-38.509316	30,50	27,50	9,06	113,30	7,90
8	-3.804158	-38.509278	30,25	27,50	9,07	110,90	7,90
9	-3.804146	-38.509185	30,25	27,50	9,08	108,70	7,90
10	-3.804173	-38.509125	30,25	27,50	9,09	108,60	7,90
11	-3.804163	-38.509153	30,25	27,50	9,10	109,90	7,90
12	-3.804141	-38.509220	30,50	27,50	9,10	108,60	7,90
13	-3.804190	-38.509265	30,50	27,50	9,11	107,70	7,90
14	-3.804188	-38.509160	30,50	27,50	9,11	106,60	7,90
15	-3.804178	-38.509065	30,50	27,50	9,12	107,80	7,90
16	-3.804183	-38.508988	30,50	27,50	9,12	106,60	7,90
17	-3.804208	-38.508895	30,75	27,50	9,12	106,70	7,90
18	-3.804268	-38.508856	30,75	27,50	9,12	108,30	7,90
19	-3.804323	-38.508810	30,75	27,50	9,13	108,30	7,90
20	-3.804423	-38.508836	31,25	27,50	9,14	106,00	7,90
21	-3.804503	-38.508876	31,50	27,50	9,14	105,80	7,90
22	-3.804488	-38.508948	31,50	27,50	9,14	107,60	7,90
23	-3.804445	-38.509030	31,25	27,50	9,13	107,80	7,80
24	-3.804465	-38.509110	31,25	27,50	9,14	107,30	7,80
25	-3.804450	-38.509208	31,25	27,50	9,14	107,00	7,90
26	-3.804403	-38.509313	31,50	27,50	9,14	106,00	7,90
27	-3.804360	-38.509403	31,25	27,50	9,14	107,40	7,80
28	-3.804310	-38.509495	31,00	27,50	9,14	106,40	7,80
29	-3.804276	-38.509568	30,75	27,50	9,14	105,30	7,80
30	-3.804326	-38.509613	30,75	27,75	9,13	104,90	7,80
31	-3.804331	-38.509585	30,75	27,50	9,11	103,80	7,80
32	-3.804301	-38.509671	31,00	27,75	9,11	104,20	7,80
33	-3.804323	-38.509733	31,25	27,75	9,13	104,40	7,80
34	-3.804330	-38.509738	31,50	27,75	9,12	100,50	7,80
35	-3.804331	-38.509736	31,25	27,50	9,13	107,10	8,00

Fonte: Autor.

Tabela 14: Tabela de coletas na lagoa do condomínio Jardins de Alice e Pereira

WP	Latitude	Longitude	T amb	T água	OD	ORP	PH
1	-3.810651	-38.506916	27,00	28,00	8,76	39,90	7,80
2	-3.810578	-38.506850	27,00	28,00	8,77	51,50	7,70
3	-3.810498	-38.506823	27,00	28,00	8,78	44,50	7,70
4	-3.810408	-38.506811	27,00	28,00	8,80	42,30	7,70
5	-3.810333	-38.506775	27,00	28,00	8,81	41,40	7,60
6	-3.810240	-38.506716	27,00	28,00	8,82	41,40	7,70
7	-3.810155	-38.506690	27,00	28,16	8,84	41,70	7,70
8	-3.810071	-38.506676	27,00	28,00	8,86	41,00	7,70
9	-3.809978	-38.506638	27,00	28,00	8,88	40,70	7,60
10	-3.809893	-38.506623	27,00	28,15	8,88	41,80	7,70
11	-3.809796	-38.506595	27,00	28,00	8,89	40,40	7,70
12	-3.809758	-38.506538	27,00	28,00	8,90	41,40	7,70
13	-3.809768	-38.506453	27,00	28,00	8,92	42,10	7,70
14	-3.809788	-38.506366	27,00	28,00	8,93	42,80	7,70
15	-3.809763	-38.506341	27,00	28,73	8,94	43,70	7,70
16	-3.809781	-38.506410	27,00	28,00	8,95	42,40	7,70
17	-3.809780	-38.506488	27,00	28,00	8,96	43,20	7,70
18	-3.809793	-38.506570	27,00	28,15	8,96	42,60	7,70
19	-3.809853	-38.506605	27,00	28,00	8,97	42,90	7,70
20	-3.809938	-38.506618	27,00	28,10	8,97	41,70	7,70
21	-3.810026	-38.506636	27,00	28,12	8,97	41,10	7,70
22	-3.810105	-38.506670	27,00	28,00	8,97	41,00	7,70
23	-3.810195	-38.506691	27,00	28,00	8,97	42,20	7,70
24	-3.810276	-38.506735	27,00	28,00	8,97	40,60	7,70
25	-3.810358	-38.506773	27,00	28,00	8,96	40,50	7,70
26	-3.810435	-38.506810	27,00	28,00	8,96	41,10	7,60
27	-3.810531	-38.506846	27,20	28,00	8,95	40,30	7,60
28	-3.810620	-38.506860	27,23	28,12	8,95	41,30	7,60
29	-3.810696	-38.506890	27,15	28,16	8,94	38,80	7,60
30	-3.810725	-38.506913	27,32	28,10	8,93	39,80	7,50
31	-3.810725	-38.506913	27,32	28,30	8,92	34,90	7,50
32	-3.810723	-38.506916	27,66	28,00	8,91	33,90	7,50
33	-3.810723	-38.506916	27,00	28,00	8,89	33,70	7,60
34	-3.810723	-38.506918	27,00	28,00	8,88	33,30	7,60
35	-3.810723	-38.506918	27,55	28,00	8,86	32,90	7,60
36	-3.810721	-38.506918	27,70	28,00	8,85	32,80	7,60
37	-3.810721	-38.506918	27,17	28,00	8,84	32,80	7,60
38	-3.810721	-38.506920	27,72	28,00	8,83	33,10	7,60
39	-3.810720	-38.506921	27,33	28,00	8,82	32,80	7,60
40	-3.810720	-38.506921	27,00	28,00	8,82	32,60	7,60
41	-3.810720	-38.506921	27,00	28,00	8,81	33,20	7,60
42	-3.810720	-38.506921	27,00	28,00	8,80	33,20	7,60
43	-3.810718	-38.506921	27,00	28,00	8,79	33,20	7,60
44	-3.810718	-38.506921	27,00	28,00	8,79	33,40	7,60
45	-3.810718	-38.506923	27,00	28,00	8,78	33,30	7,60
46	-3.810718	-38.506921	27,00	28,00	8,78	33,30	7,60
47	-3.810716	-38.506921	27,00	28,00	8,78	33,50	7,60
48	-3.810715	-38.506923	27,00	28,00	8,77	33,40	7,60
49	-3.810715	-38.506923	27,21	28,00	8,77	33,50	7,60
50	-3.810713	-38.506923	27,75	28,33	8,77	33,40	7,60

Fonte: Autor.

Tabela 15: Tabela de coletas no açude Piripau

WP	Latitude	Longitude	T amb	T água	OD	ORP	PH
1	-3.979300	-38.617785	36,50	28,00	7,86	215,00	6,40
2	-3.979291	-38.617763	36,25	28,00	7,86	221,60	5,90
3	-3.979273	-38.617745	36,75	28,00	7,84	227,20	5,90
4	-3.979216	-38.617718	36,50	28,25	7,84	231,60	6,00
5	-3.979178	-38.617640	35,75	28,25	7,84	232,70	6,20
6	-3.979085	-38.617595	35,25	28,25	7,84	238,10	5,80
7	-3.978983	-38.617550	35,00	28,25	7,85	239,30	5,80
8	-3.978888	-38.617515	35,00	28,00	7,85	237,90	5,80
9	-3.978785	-38.617518	35,25	28,00	7,84	238,50	5,90
10	-3.978698	-38.617535	35,50	28,00	7,84	239,50	5,80
11	-3.978591	-38.617541	35,50	28,00	7,83	239,20	5,90
12	-3.978485	-38.617561	35,50	28,00	7,82	240,70	5,90
13	-3.978420	-38.617531	35,25	28,00	7,82	241,70	5,90
14	-3.978390	-38.617441	35,25	28,00	7,81	235,00	6,00
15	-3.978340	-38.617351	35,00	28,00	7,80	240,10	6,00
16	-3.977953	-38.617585	33,50	28,25	7,51	215,70	6,30
17	-3.978028	-38.617563	33,25	28,00	7,51	243,90	6,40
18	-3.978093	-38.617603	33,25	28,00	7,51	246,90	5,80
19	-3.978156	-38.617655	33,00	28,00	7,51	247,60	5,80
20	-3.978233	-38.617673	32,75	28,00	7,50	245,20	5,80
21	-3.978308	-38.617648	32,75	28,00	7,49	247,80	5,80
22	-3.978366	-38.617676	32,75	28,00	7,49	249,20	5,80
23	-3.978416	-38.617726	32,50	28,00	7,48	245,80	5,80
24	-3.978490	-38.617743	32,50	28,00	7,48	251,10	5,80
25	-3.978575	-38.617728	32,75	28,00	7,48	248,00	5,90
26	-3.978656	-38.617723	33,00	28,25	7,47	247,50	5,80
27	-3.978746	-38.617698	33,00	28,25	7,47	249,70	5,90
28	-3.978746	-38.617696	33,25	28,00	7,46	246,70	5,70
29	-3.978750	-38.617701	33,25	28,00	7,46	243,10	5,70
30	-3.978750	-38.617702	33,00	28,00	7,45	244,20	5,80
31	-3.978750	-38.617703	32,75	28,00	7,44	243,20	5,80
32	-3.978750	-38.617704	33,00	28,00	7,44	243,00	5,80
33	-3.978750	-38.617705	33,00	28,00	7,43	243,80	5,80
34	-3.978750	-38.617706	32,75	28,00	7,43	242,60	5,80
35	-3.978750	-38.617707	32,75	28,00	7,43	245,10	5,80
36	-3.978760	-38.617691	33,25	28,00	7,40	236,90	6,40
37	-3.978755	-38.617698	33,50	28,00	7,38	230,00	6,50
38	-3.978736	-38.617661	33,50	28,00	7,33	213,50	6,40
39	-3.978761	-38.617615	33,25	28,00	7,33	253,10	6,20
40	-3.978841	-38.617603	33,25	28,00	7,32	247,30	5,90
41	-3.978921	-38.617576	33,00	28,00	7,32	249,30	5,80
42	-3.978993	-38.617546	33,00	28,00	7,32	252,40	5,80
43	-3.979061	-38.617588	33,00	28,00	7,32	248,60	5,80
44	-3.979123	-38.617635	33,00	28,00	7,31	252,80	5,90
45	-3.979066	-38.617648	33,25	28,00	7,31	253,40	5,80

Fonte: Autor.

ANEXO A – Análise da Qualidade da Água

Neste anexo são descritos e apresentados os parâmetros utilizados atualmente para a análise e qualificação da água. Trata, também, da legislação a respeito das medições da qualidade da água e sua classificação em diversos tipos de lagoas.

A.1 Parâmetros de qualidade da água

A água, devido às suas propriedades de solvente e à sua habilidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, que definirão sua qualidade. Esta qualidade é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma água é função das condições naturais e da interferência dos seres humanos (SPERLING, 2014).

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que representam as suas principais características físicas, químicas e biológicas. As características físicas, químicas e biológicas das águas naturais decorrem de uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e na bacia hidrográfica, como consequência das capacidades de dissolução de uma ampla gama de substâncias e de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (LIBÂNIO, 2005).

A.1.1 Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido (OD) é de fundamental importância para os organismos aeróbios, como, por exemplo, os peixes que precisam do oxigênio dissolvido na água para a sua sobrevivência (FUZINATTO, 2009).

Ainda segundo Fuzinato (2009) as baixas concentrações de oxigênio dissolvido são indícios de processos de oxidação de substâncias lançadas nos rios. Quando se considera apenas a concentração de oxigênio dissolvido, as águas poluídas

tendem a serem aquelas que apresentam baixa concentração de OD, devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos. Enquanto que, as águas limpas tendem a apresentar concentrações de OD elevadas, atingindo níveis pouco abaixo da concentração de saturação.

Além disso, os microrganismos tem uma reprodução acelerada tal qual os peixes, dessa forma quando há matéria orgânica disponível no meio há um favorecimento para o crescimento desses microrganismos que, segundo Nuvolari (2003), se alimentam dessa matéria orgânica, consumindo, assim, o oxigênio dissolvido, pois a quantidade de oxigênio dissolvido presente nos corpos d'água é diretamente proporcional à pressão atmosférica e inversamente proporcional à temperatura.

A.1.2 Temperatura

A temperatura pode ser definida como uma medida da intensidade de calor, apresenta origem natural, ou seja, transferência de calor por radiação, condução e convecção. A origem antrópica deve-se, especialmente, aos despejos industriais, as altas temperaturas aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas e diminuem a solubilidade dos gases (SPERLING, 2014).

A temperatura é uma propriedade física que está presente nas condições climáticas e com a procedência da água seja superficial ou subterrânea, pois influencia nos processos químicos como as reações químicas e dissoluções dos gases. Os organismos aquáticos são prejudicados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que provoca impactos sobre seu crescimento e reprodução. Todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. Entretanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água (ANA, 2016).

A.1.3 Potencial de Oxirredução da água (ORP)

A oxidação é um processo químico em que uma substância perde elétrons. Partículas elementares de sinal elétrico negativo resultam no surgimento dos radicais livres, porém a oxidação que ocorre dentro do corpo humano - devido a processos metabólicos - não é a única fonte destes radicais. Existem fatores externos que podem contribuir para a formação de um excesso de radicais livres e geralmente podem causar danos irreparáveis para o Homem (LOGAR, 1995).

Ainda segundo Logar (1995), o mecanismo inverso, a redução, é um processo em que há ganho de elétrons por um átomo e que os incorpora à sua estrutura interna; esses processos ocorrem simultaneamente. Na reação resultante, a Oxirredução ou Redox, uma substância redutora cede alguns de seus elétrons e, conseqüentemente, se oxida, enquanto outra, oxidante, retém essas partículas sofrendo, assim, um processo de redução.

Dessa forma o potencial de oxirredução (ORP ou Eh) é a representação de alterações no estado de oxidação de íons ou nutrientes, estando relacionado à solubilidade de metais e a disponibilidade desses nutrientes para as comunidades aquáticas (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Além disso a presença de oxigênio atmosférico faz com que o potencial redox fique positivo (VALLE; SILVEIRA, 2000).

Vale ressaltar que a Resolução Conama 357 não estabelece padrões mínimos ou máximos para potencial redox das águas.

A.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons H^+ promovendo uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade na água. A faixa de pH é de 0 a 14. O constituinte responsável pelo pH ocorre na forma de sólidos dissolvidos e de gases dissolvidos (SPERLING, 2014).

A sua origem natural deve-se à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese. A sua origem antropogênica deve-se aos despejos domésticos (degradação de matéria orgânica) ou industriais (lavagem ácida de tanques, por exemplo). Este parâmetro não apresenta riscos em termos de saúde pública, a menos que seu valor seja muito baixo ou muito alto, podendo provocar irritações nos olhos e na pele. Os valores afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática. Os valores muito altos podem estar associados à proliferação de algas. A neutralidade ocorre com pH igual a 7,0. Valores abaixo disso causam condições ácidas e valores acima condições básicas (SPERLING, 2014).

A.1.5 Tabela resumo da qualidade da água

Tabela 16: Tabela resumo de parâmetros da qualidade da água

Parâmetro	O que é?	Causas
Oxigênio Dissolvido	Oxigênio dissolvido na água.	As baixas concentrações de oxigênio dissolvido são indícios de processos de oxidação de substâncias lançadas nos rios; A quantidade de oxigênio dissolvido presente nos corpos d'água é diretamente proporcional à pressão atmosférica e inversamente proporcional à temperatura.
Temperatura	Medida da intensidade de calor, ou seja, propriedade física que está presente nas condições climáticas.	A origem antrópica deve-se, especialmente, aos despejos industriais, as altas temperaturas aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas e diminuem a solubilidade dos gases. O lançamento de efluentes com altas temperaturas também pode causar impacto significativo nos corpos d'água
ORP	No processo químico de oxidação uma substância perde elétrons. O mecanismo inverso, a redução, há ganho de elétrons por um átomo e que os incorpora à sua estrutura interna; esses processos ocorrem simultaneamente.	O estado de oxidação de íons ou nutrientes, estando relacionado à solubilidade de metais e a disponibilidade desses nutrientes para as comunidades aquáticas, além disso a presença de oxigênio atmosférico faz com que o potencial redox fique positivo.
pH	A concentração de íons H^+ promove uma condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade na água.	A dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, à oxidação da matéria orgânica e à fotossíntese. A sua origem antropogênica deve-se aos despejos domésticos ou industriais.

Fonte: (CETESB, 2015)

A.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar (oxidar) a matéria orgânica, através de processos bioquímicos de decomposição. Os processos são executados por bactérias aeróbias, para transformar a matéria orgânica em uma forma inorgânica estável. Trata-se de uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica (carbono orgânico biodegradável) (SPERLING, 2014).

A DBO é reconhecida como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Quando o período de incubação da DBO é de 5 dias, em uma temperatura de incubação de 20 °C, a DBO é conhecida como DBO_{5,20}. A DBO se torna elevada num corpo d'água quando acontecem despejos de origem, predominantemente, orgânica. A existência de um alto teor de matéria orgânica pode resultar no completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2015).

A.3 Legislação

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos teve sua implantação ordenada pela Constituição de 1988. Em atendimento a este princípio constitucional, foi promulgada a Lei 9.433, em 9/1/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRAGA *et al.*, 2005).

São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos assegurar a necessária disponibilidade de água, a utilização racional e integrada dos recursos e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos (BRAGA *et al.*, 2005).

A resolução CONAMA 357 de 2005, "dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes". Além disso, estabeleceu a Classificação das águas (doces, salinas e salobras) e, para cada uma delas, foram estabelecidos limites e/ou condições em função de sua destinação final ou segundo seus usos preponderantes.

De acordo com conceituação adotada pela Resolução CONAMA 357 de 2005 (CAPÍTULO I, Artigo 2): - Águas Doces: são águas com salinidade igual ou inferior a 0,5%; - Águas Salobras: são águas com salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%; - Águas Salinas: são águas com salinidade igual ou superior a 30%; (CONAMA, 2005).

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 (Resoluções 357/2005 e 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA).

Para o estabelecimento dos padrões de qualidade foram considerados os níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades de uso da água. Assim, foram estabelecidas 13 classes de água: 5 classes de águas doces, 4 de águas salobras e 4 de águas salinas, conforme mostrado nas Tabelas 17, 18 e 19.

Tabela 17: Tabela de enquadramento na classe águas doces

Águas Doces		
Classes	Destino	Parâmetros da classe
Especial	Ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.	Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.
1	Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; A proteção das comunidades aquáticas; A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; A 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 A proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.	DBO 5 dias a 20 °C até 3 mg/L O ₂ ; OD > 6 mg/L O ₂ ; pH: 6,0 a 9,0; TDS: 500 mg/L;
2	Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; A proteção das comunidades aquáticas; A recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; A 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 A aquicultura e à atividade de pesca.	DBO 5 dias a 20 °C até 5 mg/L O ₂ ; OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O ₂ ; pH: 6,0 a 9,0; TDS: 500 mg/L;
3	Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; A irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; A pesca amadora; A recreação de contato secundário; e A dessedentação de animais.	pH: 6,0 a 9,0. TDS: 500 mg/L; DBO 5 dias a 20 °C até 10 mg/L O ₂ ; OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O ₂ ;
4	A navegação; e A harmonia paisagística.	pH: 6,0 a 9,0. OD, superior a 2,0 mg/L O ₂ em qualquer amostra;

Fonte: Resolução 430/2011 (CONAMA, 2015).

Tabela 18: Tabela de enquadramento na classe águas salinas

Águas Salinas		
Classes	Destino	Parâmetros da classe
Especial	A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.
1	A recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; A proteção das comunidades aquáticas; e A aquicultura e à atividade de pesca.	pH: 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade; OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O ₂ ;
2	A pesca amadora; e A recreação de contato secundário.	pH: 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade; OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O ₂ ;
3	A navegação; e A harmonia paisagística.	pH: 6,5 a 8,5 não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidades. OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/ L O ₂ ;

Fonte: Resolução 430/2011 (CONAMA, 2015).

Tabela 19: Tabela de enquadramento na classe águas salobras

Águas Salobras		
Classes	Destino	Parâmetros da classe
Especial	A preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e, A preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.	Nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.
1	A recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; A proteção das comunidades aquáticas; A aquicultura e à atividade de pesca; Ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e A 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 à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.	pH: 6,5 a 8,5; OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/ L O ₂ ;
2	A pesca amadora; e A recreação de contato secundário.	pH: 5 a 9; OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O ₂ ;
3	A navegação; e A harmonia paisagística.	pH: 5 a 9; OD, em qualquer amostra, não inferior a 3 mg/L O ₂ ;

Fonte: Resolução 430/2011 (CONAMA, 2015).

ANEXO B – Características dos sensores Atlas Scientific.

Tabela 20: Características do sensor pH

Faixa de leitura	0,001 a 14,000
Precisão de leitura	+/- 0,02
Leituras com compensações	com ou sem dependência de temperatura
Modo de leituras	única ou contínua
Calibração	flexível, suportando um único ponto de calibração até três
Formato de dados	ASCII
Comunicação	serial UART e I2C
tensão de operação	3,3 V a 5 V
Consumo em modo Sleep	0,995 mA em 3,3 V

Fonte: Adaptado de Atlas-Scientific (2016).

Tabela 21: Características do sensor de Oxigênio Dissolvido (OD)

Faixa de leitura	0,01 a +35,99 mg/L
Precisão de leitura	+/- 0,02
Leituras com compensações	Temperatura, salinidade, pressão
Calibração	flexível, suportando um único ponto de calibração até dois
Modo de leituras	única ou contínua
Formato de dados	ASCII
Comunicação	serial UART e I2C
tensão de operação	3,3 V a 5 V
Consumo em modo Sleep	0,995 mA em 3,3 V

Fonte: Adaptado de Atlas-Scientific (2016).

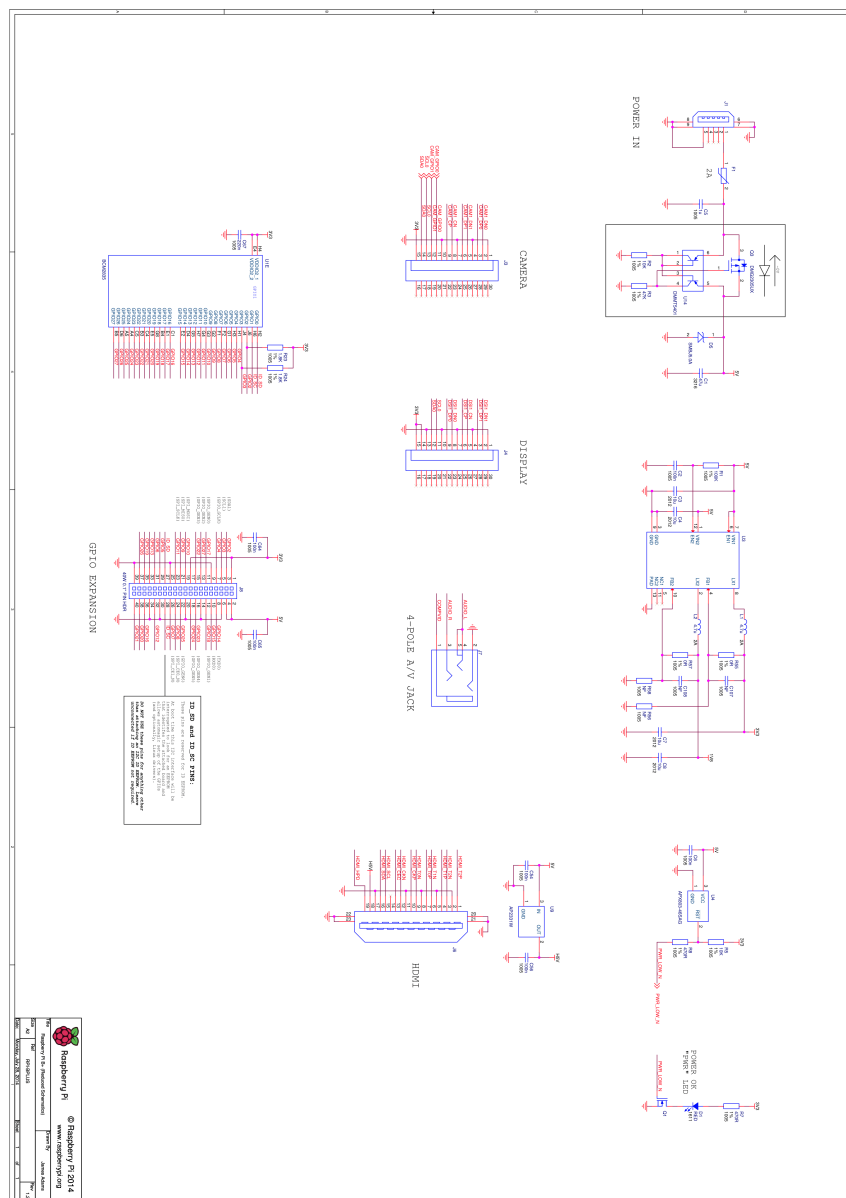
Tabela 22: Características do sensor de Potencial de Oxirredução (ORP)

Faixa de leitura	-1019,9 mV a +1019,9 mV
Precisão de leitura	+/- 1 mV
Leituras com compensações	NA
Calibração	flexível, único ponto de calibração para qualquer ponto
Modo de leituras	única ou contínua
Formato de dados	ASCII
Comunicação	serial UART e I2C
tensão de operação	3,3 V a 5 V
Consumo em modo Sleep	0,995 mA em 3,3V

Fonte: Adaptado de Atlas-Scientific (2016).

ANEXO C – Esquemático da placa Raspberry pi B+.

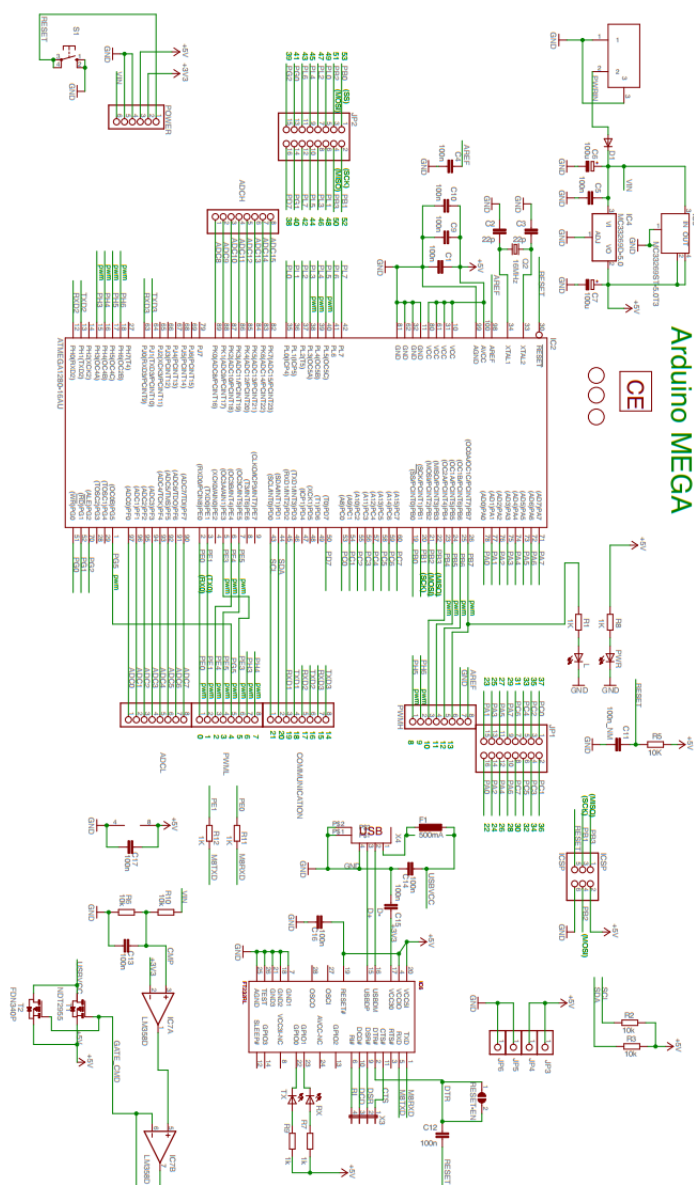
Figura 67: Esquemático Raspberry pi B+.



Fonte: (RASPBERRYPI, 2017).

ANEXO D – Esquemático da placa Arduino Mega 1280.

Figura 68: Esquemático da placa Arduino Mega 1280.



Fonte: (ARDUINO, 2016).