

SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITORIZAÇÃO SUBAQUÁTICA COM VARIAÇÃO DE FLUTU- ABILIDADE PARA O PROJECTO MARINEYE

MARCO MOTA GONÇALVES

outubro de 2017

SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITORIZAÇÃO SUBAQUÁTICA COM VARIAÇÃO DE FLUTU- ABILIDADE PARA O PROJECTO MARINEYE

Marco Mota Gonçalves

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



SISTEMA AUTÓNOMO DE MONITORIZAÇÃO SUBAQUÁTICA COM VARIAÇÃO DE FLUTU- ABILIDADE PARA O PROJECTO MARINEYE

Marco Mota Gonçalves
1080852

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor André Miguel Pinheiro Dias.

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva

Orientador

Doutor André Miguel Pinheiro Dias

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Mestre Alfredo Manuel de Oliveira Martins

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professor Doutor Aníbal Castilho Coimbra de Matos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Agradecimentos

Nesta secção gostaria de agradecer ao meu orientador Eng.º André Dias por me ter proporcionado esta oportunidade e pela ajuda disponibilizada ao longo deste projeto.

Gostaria de agradecer ao Eng.º Alfredo Martins, pelos esclarecimentos, sugestões e críticas efectuados ao longo deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao Eng.º Eduardo Silva pela atenção e apoio providenciado durante toda esta etapa.

A todos os elementos do laboratório de sistemas autónomos (LSA) que me acompanharam durante este último ano.

A todas as pessoas que me orientaram mesmo nas mais simples e pequenas conversas, permitindo a finalização deste projecto.

Aos meus pais, pela educação que me proporcionaram e pelos esforços efetuados na minha formação académica.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Resumo

Nos últimos anos, os veículos autónomos subaquáticos têm contribuído significativamente na exploração dos nossos oceanos. Uma das áreas que carece ainda de desenvolvimento é a capacidade de efectuar monitorização e recolha de matéria biológica.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitorização biológica autónomo com capacidade de variação de fluutuabilidade integrado para o projecto “MarinEye”.

O projeto MarinEye visa desenvolver um sistema autónomo multitrófico inovador com sensores adequados, autonomia e robustez suficientes para melhorar o monitoramento físico - químico e biológico integrado do meio marinho.

Nesta dissertação pretendemos dar resposta ao projecto MarinEye através do desenvolvimento de um sistema capaz de registar *in situ* informação proveniente de um sistema de imagem, acústico e de filtração, e que cumpra o requisito de poder ser implementado em plataformas fixas e móveis. Este dispositivo fortalecerá o conhecimento dos processos oceânicos e das infraestruturas observacionais, constituindo um complemento importante para os observatórios oceânicos já existentes, fornecendo novos dados integrados que não são fornecidos atualmente, sendo um contributo extremamente importante para a consolidação de infraestruturas dedicadas à observação do meio marinho.

O sistema de monitoramento autónomo consistirá em vários módulos, visando componentes específicos do ecossistema marinho. Os componentes modulares do sistema multitrófico a serem integrados são:

- Sistema de filtração autónomo;
- Sistema autónomo de aquisição de imagem de alta resolução de *plankton*;

- Sistema autónomo de aquisição de imagem de alta resolução do meio ambiente;

Uma parte do projeto pretende desenvolver e validar a componente de filtração autónoma capaz de adquirir amostras planctónicas de diferentes tamanhos e armazená-los numa solução de conservação adequada que permita o armazenamento a longo prazo para análises genómicas (DNA e RNA). Desenvolver um sistema de aquisição imagem de alta resolução de plâncton para ser integrado no protótipo multitrófico com a capacidade de registrar organismos de plancton.

No sentido de garantir quer o sistema é capaz de funcionar de modo independente desenvolveu-se um sistema de variação de flutuabilidade de modo a efectuar movimentos de ascensão e imersão de modo totalmente autónomo.

Nesse sentido, a dissertação apresenta a concepção da componente mecânica e eletrónica de um sistema de variação de flutuabilidade até 150 m de profundidade. Estrategicamente, o objetivo desta atividade é desenvolver e obter conhecimento em sistemas de impulsão variável para mergulho e ascensão com baixo consumo energético e ter um impacto ambiental mínimo.

Palavras-Chave:

Monitorização biológica, sistema de filtração autónomo, sistema de aquisição de imagem, sistema de variação de flutuabilidade, autonomia energética, alteração de massa, ascensão, imersão.

Abstract

In recent years, autonomous underwater vehicles have significantly contributed to the exploration of our oceans. One of the areas still lacking in development is the ability to monitor and collect biological material. This work presents the development of an autonomous biological monitoring system with integrated buoyancy variation capability for the "MarinEye" project. The MarinEye project aims to develop an innovative multitrophic autonomous system with adequate sensors, sufficient autonomy and robustness to improve the integrated physical - chemical and biological monitoring of the marine environment. In this dissertation we intend to respond to the MarinEye project by developing a system capable of recording information from an image, acoustic and filtration system and complying with the requirement to be able to be implemented on fixed and mobile platforms. This device will strengthen knowledge of ocean processes and observational infrastructures, being an important complement to existing ocean observatories by providing new integrated data not currently provided and making an extremely important contribution to the consolidation of marine environment infrastructures .

The autonomous monitoring system will consist of several modules, targeting specific components of the marine ecosystem. The modular components of the multitrophic system to be integrated are:

- Autonomous filtration system;
- Autonomous plankton high resolution image acquisition system;
- Autonomous system of acquisition of image of high resolution of the environment;

One part of the project intends to develop and validate the autonomous filtration component capable of acquiring plankton samples of different sizes and store them

in a suitable preservation solution that allows long-term storage for genomic analyzes (DNA and RNA). Develop a high resolution image acquisition system for plankton to be integrated into the multitrophic prototype with the ability to record plankton organisms.

In order to guarantee whether the system is able to function independently, a buoyancy variation system has been developed in order to carry out ascension and immersion movements in a totally autonomous manner.

In this sense, the dissertation presents the conception of the mechanical and electronic component of a variable buoyancy system up to 150 m depth. Strategically, one of the goals of this activity is to develop and gain knowledge in variable-impulse systems for diving and ascent with low energy consumption and have a minimal environmental impact.

Lista de Siglas e Abreviaturas

ARM *Advanced RISC Machine*

AUV *Autonomous Underwater Vehicles*

BLDC *Brushless Direct Current*

CIIMAR Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental

DNA *Deoxyribonucleic Acid*

ECEF *Earth Centered Earth Fixed*

ECI *Earth Centered Inertial*

ENU *East North Up*

GENOTRACES *An International Study of Marine Biogeochemical Cycles*

HOV *Human Operated Vehicle*

INESC TEC Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores

INESC TEC - CRAS Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência - Centro de Robótica e Sistemas Autónomos

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto

IPMA Instituto Português do Mar e Atmosfera

LED *Light Emitting Diode*

LSA Laboratório de Sistemas Autónomos

MARE-IPLeiria Centro de Ciência do Mar e do Ambiente

MISO *Master Input Slave Output*

MOSI *Master Output Slave Input*

MP *Megapixel*

NED *North East Down*

PCB *Printed Circuit Board*

PUV *Programmed Underwater Vehicle*

PWM *Pulse with modulation*

RAM *Random Access Memory*

RNA *Ribonucleic Acid*

ROM *Read Only Memory*

ROV *Remotely Operated Vehicles*

SCL *Serial Clock*

SDA *Serial Data*

SPI *Synchronous Peripheral Interface*

SPURV *Special Purpose Underwater Research Vehicle*

TEC4SEA *Tecnology for Sea*

TURTLE *Systems and technologies for Deep Ocean long term presence*

UART *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*

USART *Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*

USB *Universal Serial Bus*

UUV *Unmanned Underwater Vehicle*

UV *Ultravioleta*

VBS *Variable Buoyancy System*

Lista de Figuras

1.1	Representação das regiões oceânicas	2
1.2	Imagem a representar conceito pretendido para o Protótipo MarinEye	4
1.3	Turtle em Sesimbra	6
2.1	Aparelho de mergulho inventado por Leonardo Da Vinci	12
2.2	AUV TriMARES	18
2.3	VBS spray	22
2.4	Glider Spray	23
2.5	Estrutura Slocum Térmico	23
2.6	Sistema de variação de flutuabilidade desenvolvido por Mark Worall	25
2.7	Oil VBS System	25
2.8	Sistema de filtração	28
2.9	Vista em corte do AUV com sistema de filtração	28
2.10	Driftcam	28
2.11	Vista em corte do engenho de flutuabilidade mostrando a montagem de unidade interna	29
2.12	Sistema de recolha de água	30
2.13	Sistema de recolha de água incorporado no AUV	31
2.14	Figure	31
2.15	Array de garrafas <i>Niskin</i> mais conhecido como <i>Rosette</i>	31
2.16	Sistema de recolha de imagens ZOOVIS	33
2.17	Sistema de aquisição de imagens SPC	33
2.18	Sistema de aquisição DAVPR	34
2.19	Sistema de aquisição VPRII	35

3.1	Sistema de coordenadas ECEF	39
3.2	Sistema de coordenadas local NED	40
3.3	Sistemas de coordenadas local NED	41
3.4	6 DOF's: graus de liberdade	42
3.5	Localizações do centro de gravidade e centro de flutuabilidade	48
3.6	Orientação e estabilidade do veículo referente ao centro de gravidade	49
3.7	Diagrama força de flutuabilidade VS peso	49
3.8	Centro de flutuabilidade VS Centro de gravidade	50
3.9	Representação da pressão efectuada num corpo submerso	51
3.10	Gráfico PWM	55
3.11	Modelo ponte H para motores BDC	56
3.12	Motor Brushless	57
3.13	Diagrama de configuração e microcontrolador ARM STM32 F103RB	58
3.14	Diagrama funcionamento PID	59
3.15	Gráfico controlo PID	60
3.16	As diferentes séries das ligas de alumínio	67
3.17	Classificação dos polímeros	67
4.1	Arquitectura de alto nível do projecto	69
4.2	Idealização do cilindro que compõe o sistema de filtração	70
4.3	Idealização do sistema de aquisição de imagem de <i>plankton</i> em <i>Solidworks</i>	71
4.4	Idealização do sistema de aquisição de imagem geral em <i>Solidworks</i>	71
4.5	Esquema da primeira abordagem para o sistema.	72
4.6	Esquema da segunda abordagem para o sistema	73
4.7	Esquema do terceiro conceito para o sistema	74
4.8	Esquema da abordagem final	74
4.9	Arquitetura do sistema	75
4.10	Modelo em <i>SolidWorks</i>	76
4.11	Idealização do cilindro que reúne os vários componentes electrónicos em <i>SolidWorks</i>	77
4.12	Estrutura final do projecto	78
4.13	Arquitetura do <i>Marineye</i>	78

5.1	Arquitetura do sistema	79
5.2	Diagrama do sistema de filtração	81
5.3	Diagrama de software do sistema de filtração	81
5.4	Máquina de estados implementada no sistema de filtração	82
5.5	Arquitectura do sistema de aquisição de imagens de alta resolução.	83
5.6	Arquitectura do sistema de aquisição de imagens do ambiente marinho.	84
5.7	Tampas de alumínio utilizadas para selar o cilindro de acrílico	85
5.8	Vista em meio corte das tampas de alumínio utilizadas	85
5.9	Cilindro de acrílico	86
5.10	Representação das tensões circunferenciais e radiais	87
5.11	Válvula solenóide	88
5.12	Microbomba TCS <i>micropump</i> MG 2000	89
5.13	Microbomba TCS <i>micropump</i> MG 2000	90
5.14	Microbomba TCS <i>micropump</i> MG 2000	91
5.15	Válvula solenóide	92
5.16	Válvula solenóide vista em corte	92
5.17	Conectores	93
5.18	Exemplo de funcionamento de conector e tubo John Guest	93
5.19	Ficha Macartney Subconn mcbh8m	94
5.20	Diagrama de blocos do sistema implementado	95
5.21	Placa de circuito impresso que actua os componentes electrónicos	96
5.22	Placa circuito impressa e seus componentes específicos	96
6.1	Protótipo desenvolvido no âmbito da dissertação	100
6.2	Protótipo acoplado ao veículo Turtle	100
6.3	Protótipo desenvolvido em testes	101
6.4	Gráfico teste 1	102
6.5	Gráfico teste 2	103
6.6	Gráfico teste 3	104
6.7	Gráfico teste 4	105
6.8	Gráfico teste 5	106
6.9	Gráfico teste 6	107

6.10 Gráfico teste 7	108
6.11 Gráfico teste 8	109
6.12 Gráfico teste 9	110
6.13 Câmara Pointgrey 3MP Lente GMTHR35028MCN	113
6.14 Câmara Pointgrey 3MP Lente GMHR35028MCN	113
6.15 Câmara Pointgrey 5MP Lente GMTHR35028MCN	114
6.16 Câmara Pointgrey 5MP Lente GMHR35028MCN	114
6.17 <i>Zooplankton Brightfield</i>	114
6.18 <i>Zooplankton DarkField</i>	114
6.19 <i>Zooplankton DarkField</i>	114
6.20 <i>Zooplankton DarkField</i>	114
6.21 Primeiro teste realizado em ambiente aquático	115
6.22 Teste realizado em ambiente aquático	116
6.23 Teste realizado em ambiente aquático	117
6.24 Teste realizado em ambiente aquático	118
6.25 Teste realizado em ambiente aquático	119
6.26 Teste realizado em ambiente aquático	120
6.27 Sistema de variação de fluutuabilidade a realizar testes no LSA	120
6.28 Sistema de variação de fluutuabilidade no fundo do tanque do LSA	120
6.29 Sistema de variação de fluutuabilidade a realizar testes	121

Lista de Tabelas

2.1	Exemplos de <i>Human Operated Vehicle</i> (HOV)'s e suas características . . .	17
2.2	Exemplos de ROV's	20
3.1	Notação utilizada para os diferentes parâmetros	42
3.2	Vetores utilizados no veículo	44
3.3	Tabela ganhos <i>vs</i> parâmetros PID [64]	61
3.5	Composição química dos aços inoxidáveis	63
3.4	Características mecânicas aços inoxidáveis	64
3.6	Tipos de ligas de alumínio	65
3.7	Características mecânicas das ligas de alumínio estudadas	65
3.8	Características mecânicas de alguns polímeros	68
5.1	Massa de água a variar	85
5.2	Características do cilindro de acrílico	86
5.3	Nomenclatura adoptada para o cálculo da pressão máxima externa . . .	87
5.4	Equações para o cálculo de tensões nos diferentes eixos	87
5.5	Valores das tensões em função da pressão	87
5.6	Características Micro Bomba	90
5.7	Comparativo válvulas solenóides <i>Parker</i>	92
5.8	Válvulas e sensores BlueRobotics	94
5.9	Massa dos diferentes componentes do sistema	95
6.1	Teste 1	102
6.2	Teste 2	103
6.3	Teste 3	104

6.4	Teste 4	105
6.5	Teste 5	106
6.6	Teste 6	107
6.7	Teste 7	108
6.8	Teste 8	109
6.9	Teste 9	110
6.10	DNA extraído do sistema de filtração	111
6.11	Comparativo dos sistemas de filtração	112
6.12	Resultados obtidos com as diferentes câmaras e lentes	113
7.1	Testes realizados sem <i>manifold</i>	124
7.2	Testes realizados com <i>manifold</i>	124

Índice

1	Introdução	1
1.1	Âmbito da dissertação	1
1.2	Enquadramento e motivação	5
1.3	Cenários de operação	6
1.4	Objectivos	7
1.5	Organização da dissertação	8
2	Estado da Arte	9
2.1	Sistemas de variação de fluutuabilidade	11
2.2	Principais veículos autónomos aquáticos que integram um sistema de variação de fluutuabilidade	16
2.2.1	Gliders	21
2.3	Dispositivos relacionados	24
3	Fundamentos teóricos	37
3.1	Sistemas de coordenadas	37
3.1.1	Sistema Geodésico	38
3.1.2	Sistema <i>Earth Centered Inertial</i> (ECI)	38
3.1.3	Sistema <i>Earth Centered Earth Fixed</i> (ECEF)	39
3.1.4	<i>North East Down</i> (NED)	40
3.1.5	<i>East North Up</i> (ENU)	40
3.2	Referencial do corpo robô subaquático	41
3.3	Convenção de sinais utilizados	42
3.4	Modelo dinâmico	43
3.5	Tipos de reservatório/Diferentes sistemas de variação de fluutuabilidade	46

3.6	Centro de gravidade	47
3.7	Centro de flutuabilidade	49
3.7.1	Princípio de Arquimedes:	51
3.7.2	Força de arrasto	52
3.7.3	Profundidade	53
3.8	Controlo de Motores	54
3.8.1	Controlo através de Pulse With Modulation	54
3.8.2	Controlo de Motores DC	55
3.8.3	Controlo de Motores Brushless	56
3.9	Microcontroladores	56
3.9.1	Arquitectura ARM/Cortex	57
3.10	Algoritmos de controlo	58
3.10.1	Componente proporcional	59
3.10.2	Componente integral	59
3.10.3	Componente Derivativo	60
3.11	Protocolos de comunicação	61
3.12	Estudo de materiais para o ambiente marinho	62
3.12.1	Aços Inoxidáveis	63
3.12.2	Ligas de alumínio	64
3.12.3	Polímeros	67
4	Projeto	69
4.0.1	Sistema de filtração	70
4.0.2	Sistema de aquisição de imagem com alta resolução de <i>plankton</i>	70
4.0.3	Sistema de aquisição de imagem	71
4.0.4	Sistema de variação de flutuabilidade	72
4.0.5	Módulo computacional	77
5	Implementação	79
5.1	Arquitectura detalhada do sistema desenvolvido	79
5.2	Sistema de filtração	80
5.2.1	Processo de filtração	81
5.3	Sistema de aquisição de imagens de alta resolução de <i>plankton</i>	83

5.4	Sistema de aquisição de imagem	83
5.5	Sistema de Variação de Flutuabilidade	84
5.5.1	Tampas de alumínio	85
5.5.2	Cilindro	86
5.5.3	Reservatório	88
5.5.4	Microbomba	89
5.5.5	Válvulas solenóides	91
5.5.6	Conexões	93
5.5.7	Válvulas e sensores	93
5.5.8	Eletrónica de controlo do sistema de variação de fluutuabilidade .	95
6	Resultados	99
6.1	Protótipo desenvolvido	99
6.1.1	Validação sistema de filtração	101
6.1.2	Testes de bancada sistema de captação de imagens <i>plankton</i> . . .	112
6.2	Resultados sistema de variação de fluutuabilidade	115
7	Conclusões	123

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Âmbito da dissertação

Na atualidade, os veículos autónomos aquáticos possuem uma vasta aplicabilidade em diversas áreas, tais como, científica, comercial, industrial e militar. A capacidade de operarem de forma autónoma torna-os adequados à exploração em condições ambientais hostis, como por exemplo, a exploração de zonas no Antártico. Os *Autonomous Underwater Vehicles* (AUV) permitiram aumentar a capacidade de observação e recolha de dados dos oceanos por parte do ser humano [1]. Estes veículos tem aptidões e características que lhes dão maior permanência no local onde estão a operar. Assim sendo a recolha de dados é realizada numa maior escala temporal, permitindo uma análise mais fidedigna. Munidos de vários sensores, são capazes de inúmeras tarefas como mapeamento de elevada resolução do fundo do mar, guardar dados sobre condutividade, temperatura e salinidade do local onde estão a operar ou medir concentrações de óleo na água [2]. São veículos utilizados como ferramentas por parte de cientistas e biólogos para monitorização da vida marinha. Neste contexto, o projecto MarinEye visa reunir estas mesmas capacidades numa só plataforma, de modo a permitir explorar com maior exatidão o ambiente marinho.

Este projecto tem como objectivo dar a conhecer e obter mais informações sobre microrganismos (phictoplanton, eucariontes, procariontes), microbios marinhos foto-sintéticos que produzem tanto oxigénio como as árvores na superfície terrestre.

A possibilidade de observar estes sistemas permitirá obter informação essencial,

como por exemplo, as mudanças que ocorrem na biodiversidade, impactos nas mudanças climáticas, detecção de anomalias no ambiente ou descobrir os recursos de sustentabilidade de vida marinha.

Para se obter dados fidedignos, sem a perturbação do ecossistema e ao mesmo tempo explorar as diferentes camadas subaquáticas procurou-se desenvolver um sistema variação de flutuabilidade que desse resposta a este critério.

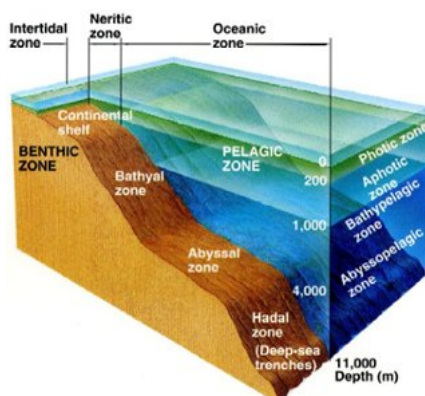


Figura 1.1: Representação das regiões oceânicas, obtido de ¹.

Um sistema de variação de flutuabilidade é um dispositivo que efectua movimentos de ascensão, imersão e de estabilização a uma dada profundidade. São poucos os sistemas de controlo de lastro que estão disponíveis para venda para posterior implementação num sistema. Para além disto, apresentam grandes dimensões e elevados consumos energéticos sendo também dispendiosos.

Hoje em dia, podemos então afirmar, que uma das maiores debilidades a nível de hardware para veículos autónomos são os sistemas de variação de flutuabilidade.

O sistema de flutuabilidade que é proposto apresenta semelhanças com o sistema de variação de flutuabilidade criado no veículo *Systems and technologies for Deep Ocean long term presence* (TURTLE) [3] desenvolvido pelo Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC TEC). O "Turtle" pretende ser um veículo autónomo capaz de actuar a grandes profundidades, com capacidade de realizar vários movimentos de ascensão e de imersão de forma autónoma, recorrendo ao sistema de variação de lastro incorporado. Preparado para inúmeras actividades no fundo do mar este veículo poderá ser usado para fins civis ou militares, apresentando uma boa eficiência energética .

¹<http://luz-meio-ambiente.blogspot.pt/2010/03/deserto-biologico.html> acedido em 16/03/2016

Neste sentido, pretende-se desenvolver uma solução capaz de dar resposta ao projecto MarinEye.

A autonomia dos veículos autónomos subaquáticos é um aspecto primordial na concepção destes sistemas, sendo este um dos aspectos que a comunidade científica tem estudado para melhorar tal lacuna.

Uma vez que os movimentos de ascensão e imersão podem chegar a consumir metade e até mais dos recursos energéticos do veículo, esta área apresenta um grande potencial de desenvolvimento uma vez que nos próximos anos se pode reduzir consideravelmente os gastos energéticos, direccionando a energia armazenada para outros fins.

Com estes pressupostos pretende-se obter maior permanência dos sistemas robóticos no mar, validar conceitos, desenvolver veículos que tenham controlo no processo de descida e subida, e que possam estabilizar numa determinada profundidade.

Assim, com esta dissertação pretende-se aprofundar e desenvolver competências em sistemas de impulsão variável tendo especial atenção ao consumo energético e incorporar a solução desenvolvida no projecto MarinEye.

Esta tecnologia deverá ser incorporada de forma eficiente nos sistemas robóticos oceânicos.

O MarinEye foi projectado para combinar vários sistemas em simultâneo: recolha de imagens tanto de *plancton* como animais marinhos, sistema de filtração de água para posterior observação de microorganismos e sistema de recolha de sinais acústico. O *MarinEye* pretende fornecer mais conhecimento dos processos biológicos que se desenvolvem no oceano constituindo um complemento muito importante para os observatórios marinhos existentes consolidando ainda mais as infraestruturas que se dedicam à observação do ambiente marinho. O projecto tem como um dos principais focos desenvolver um sistema inovador e integrado de monitorização química e biológica dos ambientes pelágicos marinhos [4].

Ao agregar o sistema de variação de flutuabilidade ao MarinEye, este ficará totalmente autónomo e efectuará a recolha de amostras de plankton, imagens, sons, densidade biomássica à profundidade pré-determinada pela equipa de operação.

No desenvolvimento de sistemas autónomos que operem na água, existe um desafio que nos últimos anos tem sido uma das grandes abordagens em projectos da área. Trata-se de prolongar a autonomia energética perante os vários sistemas que envolvem este

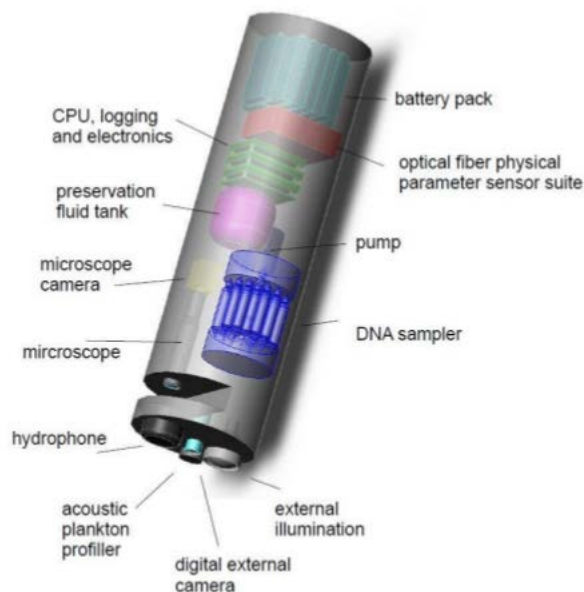


Figura 1.2: Imagem a representar conceito pretendido para o Protótipo MarinEye, obtido de [5].

tipo de veículos. Na tentativa de aumentar a permanência de sistemas robóticos no mar, o desenvolvimento da tecnologia de veículos que operam na água foi alvo de profunda investigação na comunidade científica [6] [7] [8]. As últimas duas décadas, vários veículos ganharam notoriedade com o desempenho em várias tarefas oceanográficas. Ao mesmo tempo, os sistemas utilizados nestes veículos para alterar a sua flutuabilidade não registaram a mesma evolução como outros equipamentos que integraram estes veículos. Os mais comuns apresentam grandes dimensões ocupando um espaço muito significativo nos veículos autónomos subaquáticos, sendo um entrave à evolução das capacidades destes veículos. Esta dissertação pretende estudar o estado actual dos sistemas de variação de flutuabilidade, como também, os sistemas de monitorização biológica e marinha.

Deste modo, este trabalho consiste no desenvolvimento e implementação de um sistema de variação de flutuabilidade e de um sistema de monitorização marinho. Antes da sua realização efectuou-se um estudo/investigação de máquinas que operam em rios e oceanos para obter matéria e informação necessária para projectar os componentes. Consultou-se várias extensões recolhendo informação, tendo assim elementos fundados na objectividade para o bom conhecimento do tema em questão. Após análise e compreensão deste tema foi feito o projecto do sistema idealizado. O sistema dev-

erá executar os movimentos de ascensão e imersão contrariando as forças de arrasto e flutuabilidade.

1.2 Enquadramento e motivação

O Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência - Centro de Robótica e Sistemas Autónomos (INESC TEC - CRAS) tem vindo a desenvolver ao longo dos últimos anos, projetos relativos à robótica marinha, com veículos de superfície e veículos subaquáticos.

O TURTLE visou desenvolver um veículo robótico para o mar profundo e o projecto MarinEye o desenvolvimento de um sistema multisensor para o estudo biológico de oceanos.

Como tal, o problema adjacente a esta dissertação surgiu da necessidade de obtenção de uma solução que permitisse efectuar movimentos imersão, ascensão e imobilização a determinada profundidade e também uma solução que conseguisse reunir os diferentes sistemas que o projeto MarinEye se propõe.

Uma das zonas dos veículos autónomos aquáticos que neste momento apresenta mais debilidades é o sistema de variação de lastro, tanto pelo seu tamanho como pela sua performance, como também pelo gasto energético. Os movimentos de ascensão e imersão podem chegar a consumir metade e até mais dos recursos energéticos do veículo. É uma área com elevado grau de desenvolvimento uma vez que nos próximos anos se pode reduzir consideravelmente os gastos energéticos, direccionando a energia armazenada para outros fins.

Até à actualidade, para se analisar *plankton* existem sistemas que fazem recolha de água e só posteriormente se efectua a filtração da água para posterior análise e preservação destes seres vivos.

Um dos objectivos a que o projecto MarinEye se propõe é conceber um sistema de filtração de água que execute a retenção de *plankton* e ao mesmo tempo que efectue a preservação das amostras obtidas.

Com este documento pretende-se aprofundar e desenvolver competências em sistemas autónomos monitorização subaquática com variação de flutuabilidade para de-

scida e ascensão a uma profundidade de 150 metros com reduzido consumo energético, como também estudar aplicabilidade deste sistema para grandes profundidades.

Esta tecnologia surgiu da vontade de implementar um Sistema autónomo de Monitorização Subaquática com Variação de Flutuabilidade de forma eficiente para o projecto MarinEye.

1.3 Cenários de operação

O protótipo desenvolvido será parte integrante dos seguintes projectos:

No projecto europeu *MarinEye* como solução autónoma de um protótipo multi-trófico que engloba um conjunto de sensores e sistemas prontos a adquirir dados do ambiente marinho. Como solução autónoma, irá integrar um sistema de variação de flutuabilidade que permite permanecer a diferentes profundidades para executar missões de observação subaquática. Ao recolher dados a diferentes profundidades permite um estudo mais amplo das comunidades pelágicas e marinhas. Assim o protótipo irá estar preparado para operar nos estuários de rios e oceanos.

O projeto TURTLE consistiu no desenvolvimento de um sistema autónomo para exploração de águas profundas, tendo como foco o baixo consumo energético aquando do movimento pela coluna de água. Este veículo de navegação autónoma, sem cabo umbilical tem a capacidade de operação durante longos períodos de tempo. O MarinEye pode ir acoplado ao TURTLE e efectuar a recolha de dados juntamente com este veículo.



Figura 1.3: Turtle em Sesimbra

1.4 Objectivos

A dissertação endereça o desenvolvimento de uma plataforma robótica com capacidade de variação de flutuabilidade e que permite integrar sistemas de registo de informação biológica e recolha de amostras

Deste modo, o desenvolvimento do projecto implica a concretização dos seguintes objectivos:

- Permitir dois modos de operação:
 - totalmente autónomo;
 - integrado (em veículos ou observatórios, como o projecto Turtle);
- Profundidade máxima de operação: 150 metros;
- Sistema de filtração com recolha e registo de *plankton* entre 0,2 e 0,8 μm ;
- Sistema de recolha de imagens de microrganismos (*zooplankton* e *phytoplankton*);
- Sistema de recolha de imagens do ambiente em redor;
- Sistema de recolha de sinais acústicos;
- Sistema de recolha de densidade biomássica.

Desenvolvimento de um sistema um sistema de flutuabilidade para operar verticalmente e que descreva um perfil subaquático vertical para uma profundidade máxima de 150 metros no mar. Objectivos inerentes:

- Desenvolver um protótipo de variação de flutuabilidade de pequenas dimensões para o projecto MarinEye ;
- Desenvolver um sistema de forma a não provocar perturbações no ambiente em redor que consiga estabilizar numa determinada profundidade. Desta forma, o ambiente marinho continua estável possibilitando a obtenção de dados fidedignos do local;

- Obter um sistema mecânico que opere com um bom rendimento e ao mesmo tempo tenha um gasto energético mínimo;
- Ser um protótipo que contenha materiais resistentes para que a sua durabilidade seja longa;
- Ser economicamente viável face às soluções comerciais existentes no mercado. O objectivo é realizar um protótipo que seja económico tanto do ponto de vista de desenvolvimento como do ponto de vista de operação. O custo diário de operação e aluguer de um barco é bastante dispendioso. Sendo este sistema autónomo e portátil a operação tanto em alto mar, como em rio, irá ter um custo mais barato, uma vez que não será necessário ter uma embarcação como apoio;
- Ser facilmente operável por uma pessoa, sendo assim, uma solução acessível e portátil que facilmente é transportada para qualquer sítio e adaptável a outros sistemas que necessitem de extrair dados a diferentes profundidades.

1.5 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada com a seguinte estrutura:

O primeiro capítulo apresenta o âmbito deste documento, o enquadramento e motivação, cenários de operação e os objectivos.

O segundo capítulo descreve o estado da arte dos sistemas de variação de flutuabilidade, veículos robóticos marinhos, sistemas de monitorização subaquática e sistemas de aquisição de imagens de *plankton* subaquático.

O terceiro capítulo apresenta os fundamentos teóricos endereçados no âmbito da dissertação.

No quarto capítulo é detalhado a estrutura conceptual do sistema do projecto e a idealização do sistema mecânico e electrónico de variação de flutuabilidade.

No capítulo 5 é detalhada a implementação de cada módulo do projecto no que se refere ao sistema mecânico e a respectiva electrónica de controlo.

O capítulo 6 são descritos os resultados obtidos em cada subsistema.

Por último, no capítulo 7 são apresentadas algumas conclusões sobre o trabalho desenvolvido, bem como o trabalho futuro a realizar.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo iremos efectuar uma análise dos desenvolvimentos ocorridos nos últimos anos no que respeita a veículos autónomos subaquáticos e plataformas de monitorização subaquática. Este estudo endereça não só a avaliação de soluções que têm como princípio a capacidade de variação de flutuabilidade mas também soluções similares aos requisitos do projecto *MarinEye*, onde o objectivo é o desenvolvimento de uma plataforma multitrófica que permita recolha de dados sobre o ambiente marinho envolvente.

Cerca de 71% da superfície terrestre está coberta por mares e oceanos, contendo uma grande diversidade de recursos naturais, minerais e minérios [9].

É por este facto que a exploração de áreas submersas é bastante importante para o ser humano. No entanto, esta exploração pode incluir a visita a locais inóspitos, o que despoletou a criação de novos sistemas submersíveis capazes de realizar a exploração deste meio sem nenhum humano a bordo.

De forma, a que um sistema possa ser descrito como um "submersível", tem de desenvolver os três diferentes estados de flutuabilidade: negativo, neutro e positivo. Um sistema de variação de flutuabilidade deve possuir o controlo para submergir e ascender à superfície e mergulhar até a uma profundidade pré-defenida [10].

Os sistemas de variação de flutuabilidade ou sistemas de controlo de lastro existem no mercado com muitas limitações e restrições, apresentando grandes dimensões e elevados consumos energéticos, tendo também um custo elevado. Os movimentos de

ascensão e imersão podem chegar a consumir metade ou até mais dos recursos energéticos do veículo. É uma área com grande potencial de desenvolvimento uma vez que nos próximos anos se pode reduzir consideravelmente os gastos energéticos, direccionando a energia armazenada para outros fins [11].

Com este documento pretende-se aprofundar e desenvolver competências em sistemas de impulsão variável para descida e ascensão a uma profundidade de cerca de 150 m com reduzido consumo energético, como também estudar a aplicabilidade deste sistema para grandes profundidades. Esta tecnologia poderá ser incorporada de forma fácil e eficiente em diferentes sistemas robóticos aquáticos.

Numa escala mais reduzida o sistema de flutuabilidade que é proposto apresenta o mesmo princípio do sistema de variação de flutuabilidade criado no projecto "*Turtle – Systems and Technologies for Deep Ocean long term presence*" que está a ser desenvolvido pelo INESC TEC.

Um dos domínios que verifica grande interesse e aplicabilidade destes veículos autónomos aquáticos é a oceanografia, a ciência que estuda os mares e oceanos em todos os seus aspectos. Esta ciência interessa-se em aprofundar o conhecimento das características particulares e gerais dos oceanos, principalmente as grandes massas líquidas, abrangendo os movimentos da água, interação com a atmosfera, análise dos sedimentos e rochas de fundo, fauna e flora, a composição química das águas, além da física dos oceanos e mares [12]. A oceanografia tem horizontes ilimitados uma vez que o meio biológico marinho é de extrema importância. Os oceanos são um meio muito propício à existência de matéria viva, pois as suas condições, tais como temperatura, salinidade, teor em oxigénio e penetração da luz favorecem o desenvolvimento de inúmeras e variadas espécies.

Uma das espécies marinhas que suscita maior curiosidade e interesse pela comunidade científica no sentido de aprofundar conhecimentos sobre a mesma são os corais. Para viverem estes seres vivos precisam de temperaturas superiores a 20°C, de água límpida (pura, transparente e cristalina) e só se podem desenvolver a profundidades inferiores dos 90 metros. O desenvolvimento de um sistema de flutuabilidade com características melhoradas, que se movimente sem provocar danos e ruídos no ecossistema em questão, poderá dar a conhecer ao ser humano o seu comportamento e dados biológicos sobre estes seres vivos [13].

O constante aumento da população mundial leva à procura de novas soluções para suprir as necessidades alimentares. Alguns oceanógrafos vêem os oceanos como uma fonte inesgotável de alimentos, considerando as algas como fontes nutricionais e funcionais de alimento [14]. Com o avançar das tecnologias e conhecimentos, as pesquisas científicas podem ter um avanço significativo com resultados positivos neste campo, como é o caso dos AUV e os veículos aquáticos operados por cabo remotamente *Remotely Operated Vehicles* (ROV) continuem a ter o contínuo progresso que se vem assistindo nos últimos anos reduzindo em grande escala os custos de operação e tempo de resposta. Pretende-se assim ultrapassar todos os obstáculos descritos de forma a permitir maior proximidade e conhecimento dos mares e oceanos.

2.1 Sistemas de variação de fluabilidade

O oceano apresenta uma vasta imensidão, profundidade e desconhecimento. A História conta-nos que por volta do ano de 4500 a.C., as culturas que viviam perto da costa como a Grécia e a China começaram a mergulhar no mar por curiosidade, e também à procura de alimento [15]. Por volta de 1000 a.C., há relatos dos primeiros mergulhos efetuados com uma profundidade elevada. Ainda na mesma época (900 a.C.) os Assírios registam o mergulho ao fazer gravuras com homens que respiravam através de uma bolsa com ar. O uso de campânulas de mergulho é registado pelo filósofo grego Aristóteles no século 4 a.C. para verificarem o que estava a ser feito pelos mergulhadores [16]. As câmpanulas de mergulho são compartimentos estanques de ar, seguros por um cabo, e servem de estação subaquática para um pequeno número de mergulhadores. A sua principal função é providenciar ar aos mergulhadores. Eram operadas por um barco e usado principalmente em longos resgates ou explorações submarinas.

Foi no século XV que o polímata Leonardo de Vinci fez referência a tanques de ar submersíveis. Alguns desenhos feitos por Leonardo demonstram diferentes modelos de snorkels e tanques de ar que presumivelmente não tinham conexões externas, sendo transportados sobre o peito. Outros esboços mostram *kit's* de imersão completos que até tinham colectores de urina, mostrando a minuciosa projecção. No entanto, não há referências que os sistemas idealizados por Leonardo da Vinci tenham sido construídos [17].



Figura 2.1: Aparelho de mergulho inventado por Leonardo Da Vinci

No século XVI que Nicolo Tartaglia, notável conhecedor de física e matemática, começou a desenvolver sistemas de recuperação de navios afundados. Numa das suas obras publicadas, “ *Regola generale per sollevire ogni affondata nave, intitolata la Travagliata Invenzione*” (1551), descreve um novo método de recuperação dos navios afundados bem com um novo dispositivo de mergulho, semelhante a uma campânula. Desde então registou-se uma grande força evolutiva nas campânulas de mergulho realizada por vários inventores no século XVII, que podem ser observados nas seguintes anotações:

- Uma das maiores contribuições registadas neste século são as invenções de Edmund Halley. Dominando as áreas da física aperfeiçoou o sino de mergulho desenvolvendo um método de renovação de ar através de tubos de cabedal que ligavam barris descidos da superfície que continham ar ao sino de mergulho. Também desenvolveu um sino de mergulho individual que permitia a deslocação de um mergulhador nas imediações do sino principal. Apesar do comprimento da mangueira que fornecia ar ser pequena, há registos de mergulhos que duraram cerca de 1h30min a 20 metros de profundidade [15];
- John Smeaton já na era da Revolução Industrial testou o primeiro sino de mergulho alimentado a ar comprimido. Até 1580 não há registo de concepção de um aparelho que operasse sozinho debaixo de água [18].
- A creditação do primeiro veículo funcional submersível é atribuída a Cornelius

Van Drebel, um físico alemão. A este físico são-lhe concedidas honras de ter manobrado um veículo durante várias tentativas no Rio Tamisa, a profundidades de 3,65 m e 5 m abaixo da superfície. A invenção de Van Drebel assemelha-se e assenta às ideias e concepções de Bourne. O dispositivo era constituído por um casco de madeira coberto com uma pele de couro engraxado. Os remos que se estendiam dos dois lados eram selados com retalhos de couro, fornecendo propulsão quer sob a superfície quer submerso [19].

No século XVIII a construção de submarinos teve uma grande evolução. Por volta de 1727, só em Inglaterra já tinham sido registados cerca de catorze modelos de submarinos.

Durante a guerra que deu independência à América do Norte (1775-1783), um submarino foi usado como arma ofensiva durante a guerra naval. Apelidado de *Turtle*, um aparelho que colocava o homem debaixo de água inventado por David Bushnell's [20].

Apesar do seu nome ser muitas vezes associado à invenção do barco a vapor, Robert Fulton testou vários submarinos pelo menos uma década antes de navegar com o seu barco *Clermont* pelo rio *Hudson*. O seu submarino *Nautilus* era feito em aço em forma oval alongada, sendo bastante semelhante à estrutura dos submarinos de hoje em dia. Possuía uma vela na superfície para navegação e uma hélice no casco do submarino, permitindo ser manobrada com a mão pelo interior do submarino.

Uma vez que o periscópio ainda não tinha sido inventado, uma torre de comando foi anexada com um vigia para observação. Em 1801, Fulton tentou que França, Inglaterra e América tivessem interesse na sua ideia mas nenhuma destas nações quis apoiar o desenvolvimento deste aparelho, mesmo que para a altura este aparelho apresentasse um conceito e design bastante revolucionário, futurista e vanguardista naquele tempo. O desenvolvimento de um submarino barco continuava a ser adiado por falta de meios e novas maneiras de efectuar a propulsão [21].

Alguns meios de propulsão a vapor foram testados em 1880, por um homem do clérigo Inglês, Rev. Garret, operando com sucesso um submarino que continha uma caldeira de carvão contendo uma chaminé retráctil. Durante o mesmo período, um desenhador de armas Sueco, Nordenfelt, também construiu um submarino a vapor. Este submarino que podia submergir aproximadamente até 16 metros, foi constituído

como um dos primeiros submarinos práticos em forma de tubo [22].

Entretanto, a maquinaria de propulsão eléctrica veio provar a sua utilidade em vários campos, e em 1886, um submarino totalmente eléctrico foi construído por dois homens de nacionalidade inglesa, Campbell e Ash. O dispositivo construído por estes dois senhores conseguia atingir uma velocidade de superfície de $3,1 \text{ m/s}$. Constituído por dois motores eléctricos que debitavam 36775 Watts , abastecidos por uma bateria de 100 células. Contudo, este submarino tinha uma grande desvantagem, as suas baterias tinham de ser reparadas e recarregadas em curtos intervalos [23].

Antecipando os esforços de Nordenfelt, J.P. Holland de nova Jersey, lançou o seu primeiro submarino em 1875. Simon Lake que começou a construir submarinos em 1894, concebeu submarinos que permitiam ir ao fundo de um lago ou rio de considerável profundidade e possuíam um bloqueio de ar o que permitia a um passageiro com um capacete de mergulho sair do casco do submarino, caminhar e navegar pelo fundo do rio, lago ou oceano. Lake utilizou os seus equipamentos em operações de salvamento. O seu primeiro modelo apelidado ‘Argonaut Jr’, foi uma experiência. Era um modelo constituído com duas metades de pinho e uma folha de lona entre eles.

Simon Lake engenheiro naval e arquitecto naval desenvolveu alguns submarinos. Um deles o *Argonaut*, construído em 1875, um casco em forma de charuto de 11 m de comprimento, alimentado por um motor a gasolina de 22065 Watt de potência. Este aparelho poderia submergir à parte inferior de um lago ou rio e rolar ao longo dessa superfície através de três rodas que possuía na parte inferior. As rodas podem ser levantadas e transportadas em partes na quilha. Em 1898, o submarino *Argonaut* conseguiu viajar no meio de grandes tempestades em Novembro, de Norfolk para Nova York, e assim foi o primeiro submarino a viajar extensivamente em mar aberto. Em 1906 Lake construiu um submarino ao qual apelidou *Protector* o qual o vendeu à Rússia. Depois de ter passado vários testes, Lake construiu vários submarinos após um contracto que celebrou com o Governo Russo. [24].

Em conclusão, os princípios fundamentais de construção e operação de barcos submarinos foram determinados e demonstrados antes da primeira guerra mundial surgir. Nessa altura dois tipos de motor de combustão interna, gasolina e diesel, ficaram à disposição como fonte de propulsão de dispositivos, enquanto que a invenção do periscópio pôs em prática a viabilidade da navegação marítima debaixo de água. Os primeiros

avanços significativos do desenvolvimento de submarinos estavam feitos, e os submarinos estavam prontos para ocupar um lugar significativo na estratégia naval. Os pequenos dispositivos iniciais apresentados, que permitiam apenas ter um homem debaixo de água, iriam ser substituídos por armas efetivas e submarinos que são constituídos por uma frota de 70 pessoas.

No século XX assiste-se a uma grande evolução dos submarinos. Na segunda metade deste século e com as áreas da ciência e da investigação em constante crescimento regista-se uma procura incessante por criar e melhorar equipamentos que permitam explorar os mares, recolher amostras e reparar equipamento debaixo de água. É a partir da segunda metade do século XX que se perspetiva a idealização futurista de criar um aparelho não tripulado que navegue na água sem que haja ligações físicas entre este e o operador.

Em 1950 surge o projecto *Special Purpose Underwater Research Vehicle* (SPURV) com o desafio de fomentar e alimentar a possibilidade de criação de veículos que pudessem ser autónomos e explorar com uma maior precisão e dinâmica as profundezas dos oceanos. Este projecto tinha como principal objectivo a criação de um AUV para fazer pesquisa e investigação nas águas do ártico [25].

Criado na Áustria em 1953, o *Programmed Underwater Vehicle* (PUV) foi a primeira aproximação feita ao que hoje em dia são apelidados ROV's [26].

Foi Dimitri Rebikoff que criou e desenvolveu o primeiro veículo aquático remotamente operado ROV. Apelidado de *Poodle* este veículo estava equipado com uma câmara, o que permitiu recolher as primeiras imagens do oceano com um veículo ROV [27].

As duas décadas seguintes permitiram a introdução dos ROV como aplicação militar. Tanto a marinha Americana como Inglesa, desenvolveram ROV's para recuperação de artefactos bélicos. De entre muitos casos está a recuperação, efectuada por um ROV, de uma bomba nuclear após um bombardeiro americano B-52 se ter despenhado ao largo de Espanha, perto da localidade Palomares [28].

A década de 70 permitiu a entrada de diferentes instituições e universidades nesta área. O laboratório de engenharia e sistemas da universidade de *New Hampshire* desenvolveu o veículo EAVE, nas instalações da marinha dos Estados Unidos em San Diego. Ao mesmo tempo foram desenvolvidos os veículos *L1* e *L2*, pelo Instituto de Tecnologia Marinha juntamente com a Academia de Ciências Russa [29].

Foi nesta época que estes veículos ganharam notoriedade na indústria de prospeção de gás e petróleo na água. Servindo de auxílio para os mergulhadores, estes equipamentos começaram a ser essenciais nestas operações, abrindo o campo de operação. É nesta altura que se começa a entender o potencial que estes mecanismos têm. Vários veículos foram produzidos através de financiamento de fundos governamentais, mas é nesta época que começa a existir também o interesse de empresas privadas. A construção de ROV's começa a ter uma escala global, pois várias empresas de diferentes países começam a produzir estas soluções subaquáticas, como foi caso, o desenvolvimento de equipamentos como o *Eric* (França), *Snurre* (Filândia) e *CRAB4000* (União Soviética) [30].

Nos anos 80, há uma evolução considerável no desenvolvimento dos ROV's. O progresso da indústria electrónica deu origem à produção de avanços tecnológicos muito grandes. Assim sendo, a miniaturização DOS SISTEMAS permitiu a integração de vários componentes electrónicos e conseqüentemente vários sensores nos ROV's permitindo que se comesçassem a recolher dados e a experienciar novos sistemas em ambiente aquático.

Nos últimos anos, a indústria dos ROV's e AUV's, cresceu substancialmente, produzindo avanços e melhorias até aos dias de hoje, atuando nas mais variadas actividades aquáticas. As suas tarefas vão desde inspeção de infraestruturas, oleodutos, gasodutos subaquáticos, observação de zonas, recuperação de artefactos, mapeamento de locais entre outras, como assistência a mergulhadores, procura e recuperação de objectos [31].

Com esta evolução o custo de produção destes veículos, como também as peças que os constituem, baixou ao ponto de permitir que organizações e instituições académicas possam criar o "seu próprio" veículo aquático, dando um contributo significativo para a evolução deste tipo de veículo.




2.2 Principais veículos autónomos aquáticos que integram um sistema de variação de flutuabilidade

Existem três principais tipos de veículos que percorrem as profundezas dos oceanos. São os veículos submersíveis que integram humanos HOV, veículos submersíveis operados remotamente com recurso a um cabo que transmite informação entre o

veículo e a sala de operações ou equipamento de controlo ROV, e os veículos autónomos aquáticos AUV.

Os HOV's são veículos usualmente são constituídos por uma tripulação, entre uma a três pessoas. São utilizados para pesquisas científicas, busca e salvamento, turismo subaquático e várias aplicações militares.

Tabela 2.1: Exemplos de HOV's e suas características

HOV'S			
Nome	Taurus	Perry	Gem Sub
Imagem			
Actuação	Média	Média	Mínima
Profundidade operacional:	400 m	300 m	50m
Propulsão	4 Thrusters DC	3 Thrusters DC	8 Thrusters DC
Dimensões (mm)	10000 C 3960 L 3650 A	6721 C 2390 L 2400 A	4000 C 3500L 1600 A
Peso kg	22000 kg	453,5 kg	3000 kg

Imagens obtidas de ² ³ ⁴

A diferença entre AUV's e ROV's, é que um AUV é um veículo autónomo capaz de executar tarefas com base nos sensores a bordo do veículo, enquanto que os ROV's são controlados remotamente por um humano através de um umbilical. Os AUV's podem operar por longos períodos de tempo sem comunicar com o operador enquanto efetuam a missão. Assim sendo, o operador pode encarregar várias missões para múltiplos AUV's e monitorizar o progresso destes em simultâneo. Os AUV's são veículos desenhados para fazerem tarefas intensivas e repetitivas, num curto espaço de tempo com uma precisão muito mais elevada do que a dos humanos. O facto de conseguir trabalhar em ambientes hostis e contaminados tornam os AUV's numa ferramenta fundamental e imprescindível [32]. Os AUV 's foram os veículos que tiveram mais desenvolvimento e avanço tecnológico, uma vez que a maioria do seu espaço está constituído por equipa-

²<http://www.silvercrestsubmarines.co.uk/taurusinfo.html> acedido em 7/04/2016

³<https://www.inautia.com/used-boat-81110620150449539810099975410145.html> acedido em 12/04/2016

⁴<http://www.nauticexpo.com/pt/prod/silvercrest-submarines/product-26210-183617.html> acedido em 15/04/2016

mento de última geração como baterias, processadores, luzes, câmaras e sensores. São veículos que por vezes têm acesso a determinadas zonas que mais nenhum sistema consegue ir. A sua actividade deixa reduzidas marcas ambientais tornando este veículo na vanguarda da prospecção de rios, mares, oceanos [33].

Existem vários AUV's desenvolvidos em Portugal para exploração subaquática. Criado pelo OceanSys, laboratório constituído por elementos do INESC TEC e da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, o TriMARES é um veículo subaquático utilizado como solução para a realização de inspeções autónomas, mapeamento e recolha de dados em ambiente aquático. Estando equipado com vários sensores e câmaras de alta resolução este veículo tem a capacidade de recolher informação como temperatura e o pH da água [34].



Figura 2.2: Trimares [34]

Os ROV's requerem operador com formação especializada efetuando ações contínuas, o que torna a tarefa dispendiosa .

Quando se idealiza a concepção de um ROV, deve-se ter em conta a utilização de componentes de baixa densidade de forma a ter em conta o peso do veículo total. O peso de um veículo pode ser dividido em três partes:

- Componentes de subsistemas;
- Carga adicional;
- Flutuabilidade necessária para atingir a gravidade específica operacional desejada.

Estes veículos costumam apresentar flutuabilidade positiva, pois caso surjam situações que não estão previstas durante a missão estes têm maiores possibilidades de regressarem à superfície.

Para ser estável e prático em simultâneo, os componentes que possuem uma massa mais elevada ficam colocados na parte inferior do veículo, como é o caso dos motores

eléctricos e válvulas. Já as câmaras, luzes e os componentes flutuantes, como por exemplo a espuma sintáctica ficam situadas na parte superior de veículo. Nos ROV's, os componentes de lastro podem ser fixos ou variáveis. Os componentes de lastro fixo são aqueles que são incorporados e as suas propriedades físicas não são alteradas, tais como o chumbo e a espuma sintáctica. Os materiais que constituem o lastro variável sofrem alteração da sua estrutura física durante o movimento do veículo. São exemplos de lastro variáveis tanques de lastro, que permitem a recepção e extracção de água, e os tanques de ar comprimido. A maioria dos ROV's usa a espuma sintáctica, a qual é colocada no topo da sua estrutura, para obterem flutuabilidade positiva. Quanto mais reticulada for a estrutura deste componente, mais pressão irá aguentar, logo uma maior profundidade poderá ser alcançada.

Em alguns ROV's, a sua estrutura principal é selada para ganhar ainda mais força hidrodinâmica. É usual ainda o uso de múltiplos compartimentos nesta estrutura principal de forma a evitar perdas significativas de flutuabilidade no caso de impacto.




O ROV ao possuir tanques de lastro variáveis, aquando da recolha de objectos do fundo do mar, manobra-os sem estar constantemente a efectuar uma força para baixo. Este factor também é um ponto a favor quando o veículo estiver perante correntes elevadas [35].

Actualmente algumas empresas possuem vários modelos de ROV's para venda, aluguer ou uso próprio.

Na Tabela 2.2, apresentam-se alguns modelos de ROV's e as respectivas características e aplicações.

A maioria dos veículos autónomos aquáticos possuem força de flutuabilidade positiva para reduzir risco de perda, avaria e complicações que possam surgir. Assim sendo, quando é dada a ordem de mergulho do veículo, este é obrigado a possuir uma força de imersão constante para contrariar a força de flutuabilidade [36]. Esta força pode ser exercida de diferentes formas, tais como a variação de volume, ou variação de massa ou recorrendo a *thrusters*. Tanto o gasto de energia como o espaço ocupado por este sistema pode ser reduzido se for desenvolvido um sistema de variação de flutuabilidade capaz de alterar a profundidade durante o mergulho ou ascensão. A diminuição de espaço ocupado por este sistema possibilitará, por exemplo, aumentar a capacidade de recolha de amostras permitindo uma pesquisa científica mais ampla, elaborada e

Tabela 2.2: Exemplos de ROV's

ROV's			
Nome	ECA h800	Oceaneering E-NOVUS	Deep Trekker DGT 2 ROV
Imagem			
Actuação	Média	Elevada	Mínima
Tarefas	Recolha de amostras, observação da fauna e flora, análise do fundo do mar, pesquisa científica.	Movimento de materiais no fundo do mar, inspeções de infraestruturas, reparações de tubagens.	Observação de elementos que estejam debaixo de água.
Profundidade operacional:	1000 m	3000 m	100 m
Propulsão	6 Thrusters DC	8 Thrusters DC	2 Thrusters DC
Dimensões (mm)	992 C x 720 L x 551 A	3322 C x 1706 L x 1920 A	279 C x 325 L x 258 A
Peso kg	99 kg	4763 kg	8,5 kg

Imagens obtidas de ^{5 6 7}

rigorosa. Com o trabalho desenvolvido pretende-se impulsionar e divulgar os sistemas de variação de flutuabilidade de forma a que haja mais conhecimento e desenvolvimento desta tecnologia.

⁵<https://www.ecagroup.com/en/solutions/h800-ins-rov-remotely-operated-vehicle> acedido em 17/04/2016

⁶<https://www.oceaneering.com/rov-services/rov-systems/> acedido em 18/04/2016

⁷<https://www.deeptrekker.com/product/dtg2-worker/?locale=en> acedido em 20/04/2016

2.2.1 Gliders

Os gliders são veículos autónomos aquáticos de pequena dimensão, que podem ser manobrados por uma ou duas pessoas e navegar por vários rios, mares e oceanos recolhendo dados. Os gliders são AUV's que efectuam a sua deslocação na água utilizando a variação de flutuabilidade para subir e descer na coluna de água com um determinado ângulo com a vertical. Desta forma, com o auxílio das asas "planam" na água. Estes veículos subaquáticos variam o seu centro de gravidade de modo a garantir a sua deslocação na água na direção longitudinal.

O custo de construção de um glider é equivalente a alguns dias de trabalho de um navio e o seu custo operacional é equivalente a uma fracção de um dia de trabalho de um barco. Uma das características mais importantes é o facto do glider executar movimentos de ascensão e submersão sem recorrer ao uso de turbinas, acedendo a locais ecologicamente intactos e não perturbando esses locais. Efectuando as suas missões com uma velocidade reduzida, o que é crucial para as observações oceanográficas, os seus cascos têm um formato aerodinâmico reduzindo a força de arrasto que o veículo produz à medida que se desloca. Os principais *gliders* identificados no estado da arte são: *Seaglider* [37], Slocum térmico, Slocum Eléctrico [38] e o Spray [39].

O *Seaglider* é constituído por uma estrutura exterior elaborada em compósito de fibra de vidro e um casco interior de alumínio. Somente uma parte do veículo está fora do casco de alumínio, que é a borracha de volume variável do sistema de variação de lastro. As asas do *Seaglider* providenciam a força de sustentação hidrodinâmica para o veículo seguir em frente enquanto mergulha ou vem à superfície. Com um metro de envergadura, 1,8 m de comprimento e 52 kg, o *Seaglider* está preparado para ser manobrado por duas pessoas. O sistema de variação de lastro está localizado junto à cauda do aparelho e inclui um reservatório interno representado com o número 1 na Figura 2.3, um sistema de constituído por bombas e um acumulador hidráulico externo. A área constante do reservatório permite medição precisa do óleo no reservatório, usando dois potenciómetros lineares. Assim, o óleo de baixa viscosidade é puxado por uma microbomba e em seguida é transportado por uma bomba hidráulica de pistões axiais. A colocação da micro-bomba, simbolizada com o número 2 na Figura 2.3 antes da bomba hidráulica, representada com o número 3 na Figura 2.3, assegura que esta

recebe o óleo sempre com a pressão requerida, pois bombas hidráulicas de pistões axiais são conhecidas por terem pouco poder de sucção.

O reservatório externo de dimensão variável, representado com o número 4 da Figura 2.3, aumenta o seu volume quando é injetado óleo no seu interior. O óleo irá reentrar no reservatório interno através de vácuo parcial no casco interno de forma a que o óleo flua do reservatório externo para o reservatório interior por meio da pressão atmosférica. Uma válvula solenóide, simbolizada com o número 6 na Figura 2.3, é usada para interromper o circuito . Uma vez que o vácuo interno origina também problemas de sucção o sistema apresenta uma bomba, representada com o número 6 da Figura 2.3 para evitar que isso aconteça.

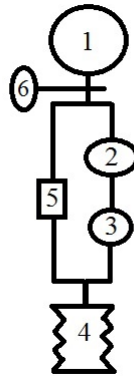


Figura 2.3: VBS spray

Este veículo pode atingir uma profundidade da ordem dos 1000 m e as suas missões podem durar cerca de 10 meses. O seu sistema de variação de flutuabilidade permite operar em diferentes mares e oceanos com diferentes densidades sem ajuste do lastro estático [40].

O veículo autónomo aquático glider *Spray* utiliza um sistema muito semelhante ao Seaglider mas em vez de bombear óleo por uma bomba de pistões axiais, utiliza uma bomba hidráulica. Com este sistema de óleo consegue alcançar uma profundidade de 1500 metros [41] .

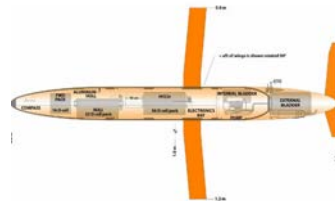


Figura 2.4: Glider Spray [42]

Tendo uma autonomia de 40000 km e um alcance máximo de 1200 metros em profundidade, o *slocum* térmico oferece uma grande resistência e durabilidade de missão. O dispositivo térmico que varia a flutuabilidade do equipamento consiste num tubo de alumínio com capacidades para transferir calor, um acumulador interno de óleo, um reservatório interno de óleo, uma válvula e borrachas de dimensão variável com a função de reservatório. O tubo que tem a função de transferir calor, é fabricado em alumínio, e no seu interior está um líquido que sofre uma mudança de fase à temperatura de 10°C. No centro deste tubo de alumínio está um tubo flexível que está preenchido com óleo mineral. Estando à superfície este veículo começa a executar o movimento de submersão quando a válvula é colocada na posição que permite que o óleo que está contido no reservatório externo flua em direção ao reservatório interno. O acumulador interno de óleo contém um tanque adicional com nitrogénio comprimido a 206 bar. Quando o glider atinge a variação brusca de temperatura designada por termoclina, o material dentro do tubo de alumínio altera o seu estado, contraindo o material que nela se encontra e dirigindo o óleo que se encontra na mangueira flexível para o reservatório interno, existindo assim, uma diminuição de volume [43] [44] [45].

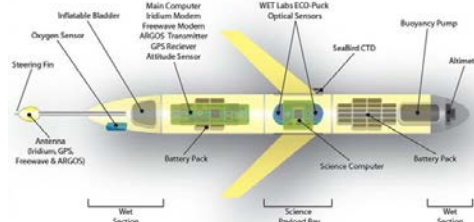


Figura 2.5: Estrutura Slocum Térmico [46]

2.3 Dispositivos relacionados

Actualmente, existem diversos tipos de variação de flutuabilidade foram criados. São várias as referências, tanto no campo da variação da flutuabilidade feita por óleo que expande uma borracha de volume variável como variação de flutuabilidade feita por entrada ou saída de água localizada num reservatório dentro do sistema.

Uma das primeiras patentes de sistemas automáticos de controlo de flutuabilidade foi registada por Roland Gogolick no ano de 1946 em Paris. O *Variable Buoyancy System* (VBS) tinha como missão levar um sensor acústico a uma determinada profundidade e mantê-lo nessa posição [47].

O departamento de engenharia e computação da Universidade de Tallinn, juntamente com a universidade de Tartu, criou um veículo no qual utiliza balões de ar que inicialmente estão preenchidos com 0,5 l de ar. A expansão dos balões permite colocar até 1,5 l de ar, criando uma força de elevação direcional de cerca de 1 kg. Assim sendo, além de controlar a força de flutuabilidade e regular a profundidade permite também alterar a orientação do veículo [48].

O laboratório de robótica da Universidade de Aberdeen desenvolveu um sistema de variação de flutuabilidade que opera em alto mar até uma profundidade de 6000 m variando a sua flutuabilidade a um registo de 1 l/min. Construído para operar a uma pressão ambiente até aos 300 bar este sistema possui uma bomba hidráulica de pistão axial accionada por um motor de 120W DC, accionando um intensificador de pressão de ação única permitindo variar 30 kg de força hidrostática. O engenho possui dois modos de operação:

- o modo de flutuação, o VBS expela a água do reservatório para o ambiente a fim de diminuir a sua densidade, colocando-o no estado de flutuabilidade positiva, potenciando a sua ascensão;
- o modo de regeneração, o processo é invertido e o recipiente recebe água do ambiente, aumentando a sua densidade e, por conseguinte, a sua massa total, colocando o sistema em estado de imersão [49].

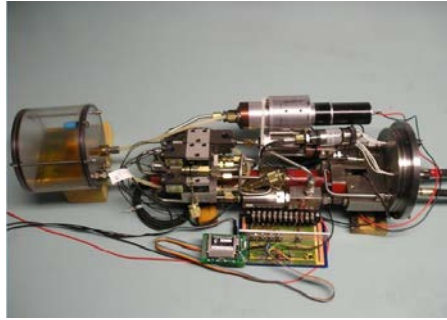


Figura 2.6: Sistema de variação de flutuabilidade desenvolvido por Mark Worall [49]

O departamento mecânico e electrónico da faculdade de engenharia de Harbin, China, realizou outro tipo de sistema de variação de flutuabilidade para um veículo autónomo de longo alcance. Com uma capacidade de flutuabilidade de 18 kg e um alcance de 1000 m de profundidade, este mecanismo é composto por uma vaso de expansão volumétrico que altera o volume do sistema por intermédio de um subsistema hidráulico. Alterando a capacidade de impulso com um fluxo de 3 l/min, a variação de volume do vaso de expansão de borracha pode ser efectuada inserindo ou retirando óleo do tanque interno. O sistema é composto por um tanque de óleo para aguentar pressões de 100 Bar, um reservatório de expansão para alterar o volume de água deslocado pelo veículo e uma bomba hidráulica.

O motor DC, consoante a diferença de potencial aplicada aos seus terminais, imprime no seu veio uma velocidade angular, linearmente proporcional. Esta relação verifica-se também entre a flutuabilidade obtida e a velocidade angular. Ou seja, a tensão aplicada aos terminais do motor deverá ser diretamente proporcional à flutuabilidade requerida. Neste sistema, um conjunto de válvulas permitem que o sistema actue de maneira distinta em águas profundas ou em águas de baixa profundidade. As válvulas normalmente são operadas a uma tensão de 24V DC e controladas, por exemplo, através de uma porta I/O de um microcontrolador/CPU.

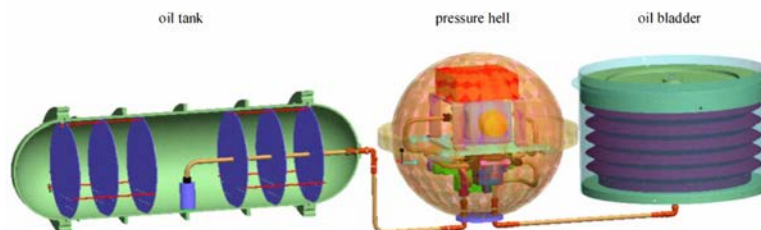


Figura 2.7: Oil VBS System [50]

Em 2011, Andreas Lonkai da *Atlas GmbH* desenvolveu uma estrutura flutuante que utiliza *thrusters*. O sistema recorre a uma câmara que permite variar o seu volume sendo o seu interior preenchido com petróleo ou massa lubrificante. O actuador varia a densidade consoante o material preenchido [51].

Em [52] é referido o desenvolvimento de um sistema de variação de flutuabilidade para fazer movimento vertical de descida e subida na água. É um sistema de variação de massa, no qual através de um cilindro é colocado e retirado 1,5 l de água. É referido que este sistema foi adoptado por duas razões importantes: a primeira é tirar amostras sem perturbação do ambiente marinho em redor e a segunda é ter um consumo energético muito baixo, enquanto que um propeller vertical implicaria um grande gasto energético contínuo. Neste sistema, à medida que a água vai entrando o ar que se encontra do outro lado do pistão é comprimido para uma antecâmara. Desta forma, quando o Guanay II se encontra a uma determinada profundidade e se pretende efectuar o movimento de ascensão, o ar comprimido vai ajudar de uma forma simples e eficaz na libertação da água para o exterior do veículo.

Em [53] foi desenvolvido um *profiler* vertical subaquático para mapeamento bio e geoquímico do local em que é colocado. O sistema permite recolha de amostras para posterior análise ao DNA, RNA e proteínas. Num dos topos o sistema possui um *thruster* para descer e ascender à profundidade requerida. Este sistema foi executado no âmbito do projecto *An International Study of Marine Biogeochemical Cycles* (GENOTRACES). O facto de possuir uma hélice a trabalhar para estar à profundidade que se pretende tem a desvantagem de perturbar o ambiente e o meio envolvente, sendo que as análises resultantes das amostras recolhidas poderão dar origem a resultados comprometedores e adulterados.

Em [51] é referido o desenvolvimento de um sistema de variação de flutuabilidade para um veículo subaquático que por norma actua junto do solo. O VBS é baseado na regulação de ar em reservatórios que são abastecidos por cilindros contendo ar comprimido. Para efectuar o controlo do ar válvulas são controladas através de micro-controladores. O veículo, foi desenvolvido no Instituto de Tecnologia da Florida com o objectivo de remover do fundo do mar material resultante de desastres nucleares, e também executar operações de pesquisa arqueológica subaquática.

Em [54] é referido a concepção de um VBS adaptável para qualquer tipo de veículo

autónomo aquático para minimizar o volume e a massa, permitindo velocidades muito reduzidas sendo a aproximação ao *target* realizada com suavidade e ao mesmo tempo permitindo ângulos de inclinação extremos. O princípio de funcionamento deste VBS assenta na introdução de água num tanque de lastro e o ar contido dentro desse tanque é comprimido.

Os oceanos e mares possuem regiões que ainda não foram exploradas. É necessário criar infraestruturas e suporte para dar apoio às pessoas que exercem pesquisa, desenvolvimento de novas tecnologias com aplicabilidade na água, como é o caso do *Tecnology for Sea* (TEC4SEA) [55], que aposta no desenvolvimento de novos sistemas, uma necessidade comum para muitos setores que vivem do mar. O TEC4SEA é uma infraestrutura tecnológica e científica criada em Portugal para o apoio, desenvolvimento, validação e teste de tecnologias e sistemas subaquáticos. Esta plataforma multidisciplinar é capaz de apoiar testes de robótica marinha, comunicações e sensores para monitorização em ambiente marinho permitindo que certas empresas e instituições em Portugal aumentem a sua capacidade de inovar na área da economia marinha .

No que respeita a sistemas de monitorização subaquática os próximos parágrafos descrevem o estado da arte deste tipo de soluções.

O instituto Alfred Wegener e o departamento de investigação marinha *Bremerhaven* utilizou um veículo autónomo aquático da *Bluefin Robotics*, ao qual deram o nome de *Paul*. Este aparelho para além de estar equipado com vários sensores permite a recolha de amostras biológicas, o que permite analisar vários dados que não podem ser observados no local como, por exemplo, a quantidade de plancton presente na água. O fluxo de clorofila através do fluorómetro presente no AUV pode ser calibrado, sabendo a quantidade de clorofila presente nas diferentes amostras que foram previamente recolhidas [56].

Em [57] à referência a um controlo flutuabilidade lagrangiano por ajuste de volume sem necessitar de conexões físicas até à superfície nem navio de apoio. Para fazer face ao preço elevado que é imputado à tarefa de recolha de imagens subaquáticas maioritariamente devido à utilização de submersíveis operados remotamente existe a necessidade de criar um sistema que possa controlar a profundidade, navegar silenciosamente nas correntes oceânicas para recolher imagens de organismos que habitam

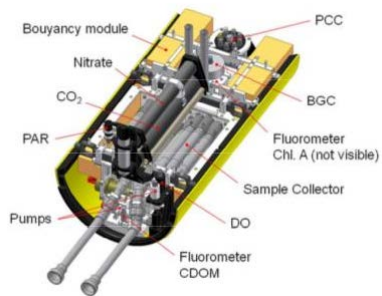


Figura 2.8: Sistema de filtração [56]



Figura 2.9: Vista em corte do AUV com sistema de filtração incluído [56]

a zona mesopelágica. Este sistema permite obter diferentes dados, como por exemplo, condutividade, a temperatura, salinidade e profundidade do perfil vertical. Através de uma câmara consegue-se obter imagens de zonas bentónicas. É um sistema que não tem ligação por cabo, é semiautónomo e é capaz de explorar as regiões mesopelágicas e batipelágicas da coluna de água até uma profundidade de 1500 m.

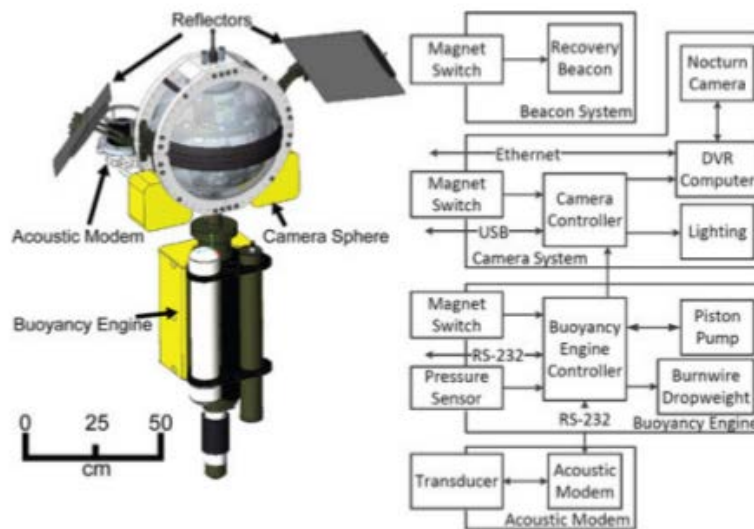


Figura 2.10: Driftcam obtido de [57]

O sistema é dividido em três grandes conjuntos, uma câmara na parte superior, um modem acústico e um mecanismo de flutuabilidade na parte inferior. A câmara que está montada no interior de uma esfera de vidro de 430 mm de diâmetro e 21 mm de espessura está preparada para ir a 12000 metros de profundidade. A câmara é uma Nocturn XL da Photonis com uma lente da Cosmocar com um foco de 6,5 mm e abertura de f 1.8 montado num *gimbal* servo actuado de um só eixo. Esta permite obter imagens dos oceanos. Aquando da recolha de imagens são activados um conjunto de LED's que com a ajuda dos reflectores, refletem a luz no campo de visão da câmara.

O sistema de flutuabilidade dá movimento na coluna vertical e controlo de profundidade. Este subsistema opera com óleo no lado contrário do pistão.

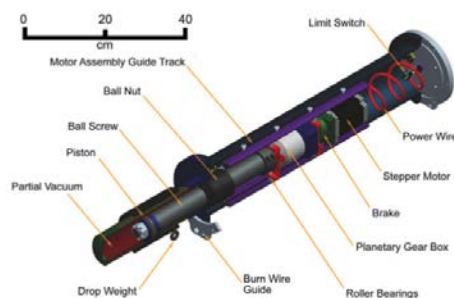


Figura 2.11: Vista em corte do engenho de flutuabilidade mostrando a montagem de unidade interna obtido de [57]

A previsão de quando e onde os processos oceânicos de maior importância vão ocorrer é uma problemática em que os diversos factores físicos, biológicos e químicos interagem nas mais rápidas e variadas combinações. A definição destes processos oceânicos requer recolha de amostras eficientes de massas de água específicas, e estas amostras estando prontas, são recolhidas para posterior análise. Este desafio motivou os investigadores a desenvolver um sistema móvel de recolha e armazenamento de amostras (MAPS – mobile autonomous process sampling) para uso em veículos autónomos aquáticos.

A referência [58] retrata o desenvolvimento de um dispositivo de captura de água do mar para um recipiente a uma determinada profundidade. Este dispositivo, tem como base de actuação o funcionamento de um sistema efectua a recolha da amostra em menos de dois segundos para um recipiente com forma cilíndrica.

Antes da realização deste sistema foi concebido um conjunto de requisitos funcionais para o sistema de recolha de água. O volume da amostra é de dois litros o que faz

com que este dispositivo seja largo o suficiente para permitir que vários utilizadores partilhem a mesma amostra.

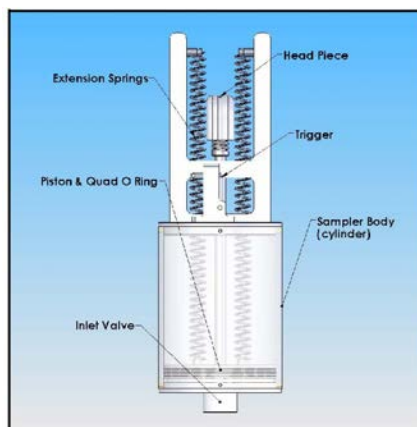


Figura 2.12: Sistema de recolha de água obtido de [58]

Para efectuar a recolha precisa, o dispositivo necessita de efectuar um recolha rápida (em menos de 4 segundos) e ser capaz de recolher amostras múltiplas em rápidas sucessões (3 amostras por cada descida de 10 metros, e menos de 6 segundos por cada recolha de amostras). A recolha de amostras deve ser estável sem alteração da profundidade no momento exacto da recolha.

Os biólogos solicitaram que o recipiente fosse transparente pois os cientistas investigadores de *plankton* e bioluminescência necessitam de observar a amostra antes de ela ser exposta. Finalmente, investigadores que fazem pesquisa sobre o conteúdo de ferro nas águas do mar solicitaram que as partes que contactam com a amostra não fossem realizadas com aço inoxidável ou acrílico.

Este sistema foi incorporado no *Mbari El Dorado* como explicita a Figura 2.13.

Para evitar a contaminação de recolha de amostras após a sua recolha, cada amostra possui um diafragma de compensação de pressão para assegurar que as oscilações de pressão que este AUV é submetido não afectam o sistema de recolha de amostras.



Figura 2.13: Sistema de recolha de água incorporado no AUV *Mbari* obtido de [58]

Uma outra solução de recolha de amostras de água é a garrafa *Niskin*. Com as garrafas Niskin as amostras são recolhidas à profundidade requerida e posteriormente recolhidas até à superfície. É um sistema que necessita de uma embarcação de apoio a todo o momento e o processo não possui uma maneira exata para saber a que profundidade são recolhidas as amostras. Podem ser usadas singularmente ou em conjuntos caso seja necessário obter várias amostras à mesma profundidade.



Figura 2.14: Garrafa *Niskin* obtido de ⁸



Figura 2.15: *Array* de garrafas *Niskin* mais conhecido como *Rosette* obtido de ⁸

⁸<https://earthandsolarsystem.wordpress.com/2011/03/01/tracemetals/> acedido em 12/02/2017

Quando se trata de tecnologia de imagem, existem dois fatores principais que afetam o desempenho geral: o sensor da câmera e o tipo de lente. Nos dias de hoje, as duas tecnologias para sensores de câmera (CCD e CMOS) são quase equivalentes em desempenho, portanto, a seleção de uma sobre a outra baseia-se em detalhes específicos muito pequenos em relação à sua aplicação. Outros fatores a serem considerados são resolução, dimensão e tamanho de pixel de um sensor de câmera. Quanto maior a resolução, maior a quantidade de detalhes que pode capturar. A resolução é medida em pixels, o que significa que uma resolução 4064 x 2704 terá 4064 pixels horizontais e 2704 pixels verticais, traduzindo para 11,1 milhões de pixels de informação digital, ou seja, 11,1MP. O tamanho de cada pixel individual é variável e pode ser, por exemplo, de 9 μm a 1.12 μm . Quanto menor o tamanho do pixel, menor o sensor e a câmera, embora isso traga adversidades quando se trata de aquisição de imagens. Para maximizar a informação visual a digital que o sensor pode capturar, a lente deve ter capacidade para resolver detalhes. Quanto menor o tamanho de pixel do sensor, maior a capacidade da lente para resolver devidamente os detalhes, o que se traduz numa lente mais cara. Devido a esse fato, escolher uma lente telecêntrica sobre uma lente fotográfica regular pode ser uma vantagem devido às suas aplicações pretendidas. As lentes telecêtricas têm uma resolução maior e transmitem mais luz do que as lentes fotográficas normais. Isso permitirá o uso de uma câmara com um sensor de tamanho de pixel menor, sem afetar a qualidade da imagem. Outros benefícios das lentes telecêtricas são: menos distorções do que as lentes convencionais e a eliminação do erro de perspectiva, o que significa que todos os objetos aparecerão como se estivessem no mesmo plano do objeto, tornando as medidas de alvo e a detecção automática de objetos de interesse muito mais simples.

Seguem-se alguns exemplos de sistemas que permitem a recolha de imagens de *Plankton* nos oceanos:

ZOOVIS DEEP [59]

- Câmara: 5MP 12 bit - 12.5 μ pixel
- Lente: Telecêntrica
- Strobe: Luz vermelha estruturada colimada RED LED, 5 μs PW
- Transmissão: WiFi / Cabo
- Campo de visão: 30 x 28 mm

- Profundidade de campo: 178 mm
- Volume de água: 140 ml
- Profundidade máxima: 6000 m
- Autonomia: 8h de operação contínua



Figura 2.16: Sistema de recolha de imagens ZOOVIS [59]

SPC2 e SPSC2

SPC2

- Câmara – 9 MP USB 3.0 Color Point Grey Grasshopper 3
- Lente – 0.508X, 1 Lente telecêntrica
- Iluminação – Luz LED branca pulsada, Darkfield
- Tempo de exposição – 10 a 60 μ s
- Campo de visão – 25 mm x 20 mm
- Tamanho do pixel – 7.4 μ m
- Profundidade de campo – 400 μ m
- Volume de imagem – 0.2 ml
- Sistema computacional embebido – 1.8 GHz Big-Little Quad Core
- Processamento de imagem – OpenCV

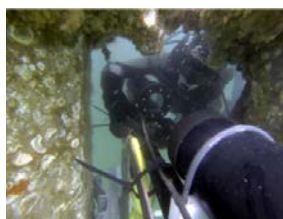


Figura 2.17: Sistema de aquisição de imagens SPC ⁹

⁹<http://jaffeweb.ucsd.edu/research-projects/scripps-plankton-camera-system>

SPSC2

- Câmara – 9 MP USB 3.0 Color Point Grey Grashopper 3
- Lente – 5X, 0.13 NA, Olympus Plan Fluorite Infinity-Corrected
- Tubo usado na lente – Thor Labs Infinity-Corrected Tube Lens
- Iluminação – Pulsed White LED, Darkfield
- Tempo de exposição – 10 to 60 μ s
- Profundidade de campo – 2.5 mm x 2.0 mm
- Tamanho Pixel – 0.74 μ m
- Resolução óptica – 200 lp/mm @
- Profundidade de campo – 20 μ m @ 200 lp/mm @
- Volume de imagem – 0.1 μ L
- Sistema embebido – 1.8 GHz Big-Little Quad Core ODROID-XU3

DAVPR

- Câmara: DIGITAL COLOR 1028 X 1024p, 15FPS
- Lente: 4 Magnification Settings (7x7,14x14,24x24,42x42mm)
- STROBE: Ring Xenon Strobe
- Campo de visão: 14 x 14 mm
- Volume de água: 2.4mL
- Método de imagem: DARK FIELD ILLUMINATION
- Tamanho de imagem: 50 μ m – 0.05mm
- Profundidade máxima do sistema: 1100m
- Autonomia: 3h continuous operation

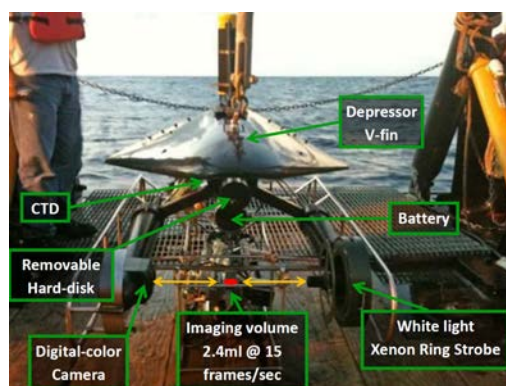


Figura 2.18: Sistema de aquisição DAVPR

VPR II [60]

- Câmera: 1 MP, 10 bit, 1008 x 1018 progressive scan monochrome, 30Hz
- CCD
- Lente: Manual zoom lens (Cosmicar/Pentax, model C31204, 12.5 to 75 mm)
 - STROBE: 20W Hamamatsu Xenon Bulb L7684 @30Hz
 - Transmissão: Cabro Fibra Ótica @ 30Hz
 - Campo de visão: 12 x 12 mm
 - Profundidade de campo: 50 mm
 - Volume de água: 7.2mL
 - Método de imagem: DARK FIELD ILLUMINATION
 - Tamanho da imagem: 100 μm – 1cm
 - Profundidade: 110 – 140m
 - Autonomia: Dependente de ser rebocado por navio

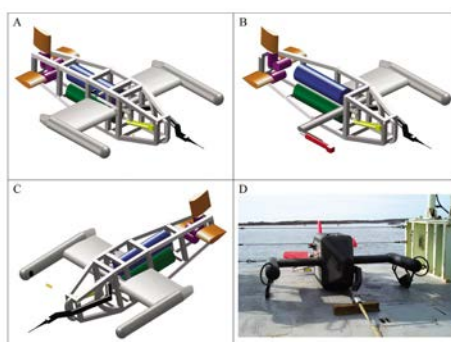


Figura 2.19: Sistema de aquisição VPRII obtido de ¹⁰

¹⁰<https://www.researchgate.net/publication/267362927-A-three-axis-fast-tow-digital-Video-Plankton-Recorder-for-rapid-surveys-of-plankton-taxa-and-hydrography> acedido em 14/06/2016

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 3

Fundamentos teóricos

Neste capítulo serão abordadas as principais bases da mecânica aplicadas a veículos subaquáticos, bem como, alguns princípios de eletrónica como por exemplo algoritmos de controlo. Este conjunto de princípios teóricos irá permitir uma melhor preparação para os objectivos do projecto.

3.1 Sistemas de coordenadas

A localização na superfície da Terra pode ser feita recorrendo às coordenadas latitude, longitude e altitude. Digitalmente, com recurso ao sistema GPS (Global Positioning System) podemos obter as coordenadas de um determinado ponto à superfície da Terra. Já a localização subaquática normalmente é efectuada recorrendo a sensores de posicionamento acústico. Os sensores de pressão auxiliam a estimar a profundidade, uma vez que se encontram directamente relacionadas.

Um referencial inercial é aquele ao qual um corpo isolado permanece em repouso ou em movimento retilíneo com velocidade constante. Um sistema de coordenadas de duas dimensões é definido por dois eixos formando um plano normalmente denominado XY. O eixo horizontal é normalmente o X e o vertical é o Y. Num sistema de coordenadas tridimensionais, tal como diz o nome, é composto por três eixos, sendo normalmente denominado XYZ. O eixo Z proporciona a terceira dimensão de espaço.

O movimento do corpo poderá ser relativo a um observador, relativo a um sistema ou relativo a uma partícula.

Dado que planeta Terra possui rotação, este não deve ser classificado como um referencial inercial. No entanto, quando se analisa movimentos de pequena duração, pode-se preterir os efeitos de rotação e considerar a Terra como um Referencial Inercial.

Para navegação em ambientes subaquáticos, são frequentemente utilizados os seguintes sistemas de coordenadas:

- o sistema de coordenadas geodésico;
- o sistema de coordenadas ECI;
- o sistema de coordenadas ECEF;
- o sistema de coordenadas locais NED;
- o sistema de coordenadas locais ENU;
- o sistema de coordenadas do veículo.

3.1.1 Sistema Geodésico

O sistema geodésico apresenta-se como um sistema de coordenadas esféricas, em que a Terra é considerada um modelo elipsoidal, e a localização é representada pela longitude e latitude em relação ao nível do mar. A latitude é definida como o ângulo entre o plano equatorial (origem) e a normal à superfície elipsoidal de referência (WGS84-World Geodetic System – elipsoides de referência). A longitude é definida como o ângulo entre o meridiano de Greenwich(origem) e a normal à superfície elipsoidal de referência (WGS84 - World Geodesic System – elipsóides de referência). As coordenadas geodésicas referenciais são expressas da seguinte forma:

Φ - Latitude

λ - Longitude

H - Altitude elipsoidal

3.1.2 Sistema ECI

O sistema ECI, ou seja, o referencial central inercial terrestre ECI é um referencial inercial para navegação terrestre. É um referencial que não sofre aceleração, ao qual são aplicadas as leis de movimento de Newton, abrangendo também os sistemas de navegação inercial. O referencial é expresso de acordo com a seguinte terminologia:

$$\{i\} = (x_i, y_i, z_i) \quad (3.1)$$

3.1.3 Sistema ECEF

O sistema de coordenadas ECEF acompanha o movimento da Terra através do seu eixo de rotação. A origem deste eixo é localizada no centro do globo terrestre. O eixo Z acompanha em paralelo o eixo de rotação da Terra na direção do Pólo Norte. O eixo X intersecta a esfera da Terra na posição 0° de latitude e 0° de longitude. O eixo Y é perpendicular a Z e a X. Na Figura 3.1 é possível observar o sistema de coordenadas

Os vetores de coordenadas expressos no sistema de coordenadas ECEF são simbolizados tal como se pode observar na equação 3.2.

$$P = \begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

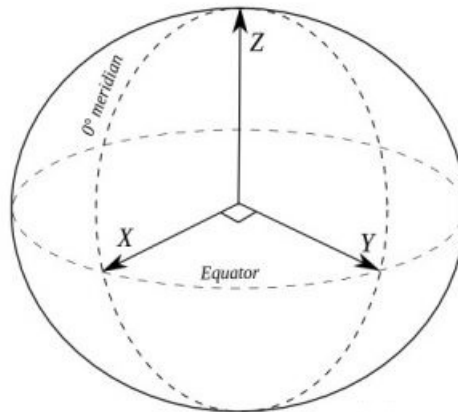


Figura 3.1: Sistema de coordenadas ECEF, adaptado de ¹⁵

¹⁵<http://www.basicairstdata.eu/knowledge-center/background-topics/coordinate-system/> acedido em 03/05/2017

3.1.4 NED

O sistema referencial NED é um sistema de navegação local, e a sua origem pode ser definida em qualquer posição do globo terrestre, sendo que o eixo X orienta-se para o norte geográfico, o eixo Y é referenciado de acordo com a regra da mão direita e o eixo Z orienta-se na direção do centro da Terra.

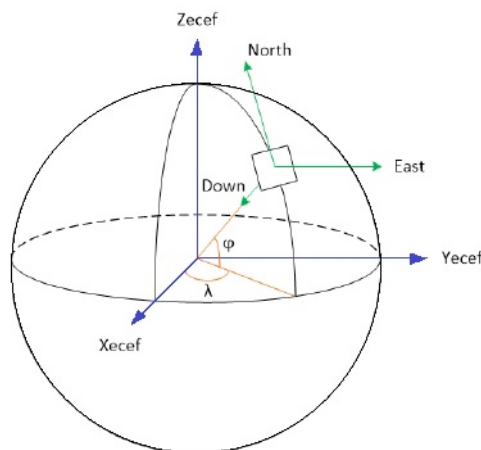


Figura 3.2: Sistema de coordenadas local NED, adaptado de ¹¹.

3.1.5 ENU

Este sistema é considerado também um sistema de referência local. O sistema de eixos ENU tem proveniência num plano tangente à superfície da Terra num ponto, ao qual, a latitude e longitude corresponde a primeira posição do robot subaquático. O eixo Y aponta para o Norte e o eixo X aponta para Este. O terceiro eixo aponta na direção oposta da Terra.

¹¹https://www.researchgate.net/figure/271472888_fig9_Fig-11-NED-coordinate-system acedido em 20/05/2017

¹²https://www.researchgate.net/figure/253261837_fig2_Figure-2-ECI-and-local-ENU-coordinate-systems

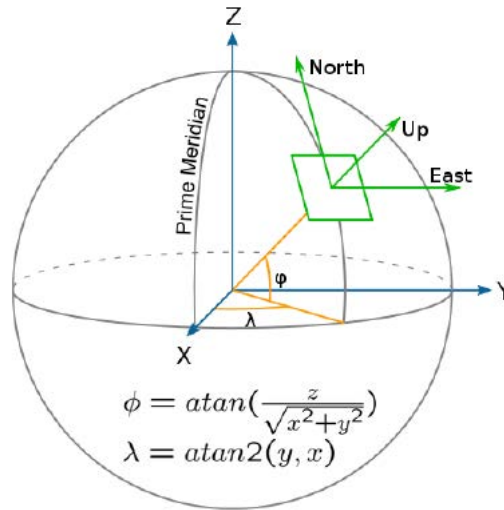


Figura 3.3: Sistemas de coordenadas local NED, adaptado de ¹²

3.2 Referencial do corpo robô subaquático

A origem deste referencial localiza-se no centro de massa do sistema e os seus eixos são definidos do seguinte modo:

- Eixo Longitudinal (X) - que passa pelo centro de massa e indica a direção nominal de movimentos do veículo;
- Eixo Lateral (Y) - perpendicular ao plano de simetria do veículo subaquático com sentido positivo;
- Eixo Vertical (Z) - obtido pela regra da mão direita, está contido no plano de simetria do robô e aponta para “baixo” relativamente ao seu corpo.

3.3 Convenção de sinais utilizados

Um veículo autónomo subaquático pode mover-se com seis graus de liberdade (DOF's), e estes determinam a sua posição e orientação.

O sistema está sujeito a um conjunto de forças e momentos que se podem resumir em 3 forças (X,Y,Z) e 3 momentos (K,M,N) resultantes segundo os 6 degraus de liberdade, tal como é possível observar na figura 3.4.

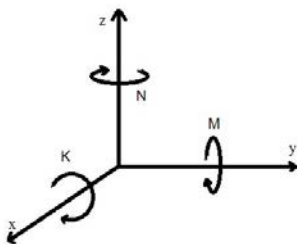


Figura 3.4: 6 DOF's: graus de liberdade

A convenção de sinais para robôs que operam na água utilizada nesta dissertação foi estipulada pela conferência SNAME (Society of Naval Architects and Marine Engineers) realizada em 1950 [61].

Tabela 3.1: Notação utilizada para os diferentes parâmetros

Notação utilizada			
Direção	Forças e momentos (τ)	Velocidades Lineares e Angulares (ν)	Posições e Ângulos de Euler (η)
Variação de posição no eixo do x (Surge)	X	u	x
Variação de posição no eixo do y (Sway)	Y	v	y
Variação de posição no eixo do z (Heave)	Z	w	z
Variação de posição angular em torno do eixo x (Roll)	K	p	ϕ
Variação de posição angular em torno do eixo y (Pitch)	M	q	θ
Variação de posição angular em torno do eixo z (Yaw)	N	r	ψ

O estudo da modelação de um veículo subaquático pode ser repartido em duas áreas: a cinemática e a dinâmica. A cinemática estuda o movimento do corpo desprezando as forças exteriores que actuam sobre este. A dinâmica estuda a relação

entre as forças e o movimento do corpo. Com a cinemática é possível transpor do sistema de coordenadas do veículo para o referencial do globo terrestre, como também, efectuar a operação contrária. Recorrendo à dinâmica é possível antecipar o desempenho do veículo quando certas forças agem sobre o mesmo.

3.4 Modelo dinâmico

Os veículos subaquáticos apresentam 6 graus de liberdade relativos às equações não lineares de movimento. O sistema de coordenadas possui um vector de velocidade, ao qual três correspondem às velocidades angulares.

$$\nu = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T \quad (3.3)$$

As equações dinâmicas não lineares de movimento podem ser descritas da seguinte forma [61]:

$$M\dot{\nu} + C(\nu)\nu + D(\nu)\nu + g(\eta) = \tau \quad (3.4)$$

M = matriz inercial

$$M = M_{RB} + M_A \quad (3.5)$$

Em que:

M_{RB} = Matriz inercial corpo rígido;

M_A = Matriz inercial massa acrescentada.

É considerado que um sistema está em repouso ou está a deslocar-se a uma velocidade reduzida sob o pressuposto que o fluido de trabalho é um fluido ideal.

$C(\nu)$ = Matriz de coriolis e termos centripetos

$D(\nu)$ = Matriz de amortecimento

$g(\eta)$ = Vetor de forças e momentos gravitacionais

τ = Vetor de controlo de entradas

Tabela 3.2: Vetores utilizados no veículo

Tipos de vectores		
η	Vector posição (x,y,z) da veículo subaquática	Referencial global
	Vector orientação (ϕ, θ, ψ)	Referencial global
ν	Vector velocidades lineares (u,v,w)	Referencial veículo
	Vector velocidades angulares (p,q,r)	Referencial veículo
τ	Vector das forças (X,Y,Z)	Referencial veículo
	Vector de momentos (K,M,N)	Referencial veículo

Para veículos subaquáticos as equações de movimento da cinemática podem ser escritas da seguinte forma:

$$\dot{x} = J(\eta) \nu \quad (3.6)$$

A equação 3.6 demonstra a transformação da velocidade do veículo representada no referencial global. $J(\eta)$ representa um sistema matricial, composto pela posição e orientação do veículo, respeitante ao referencial global e ν é matriz composta pelo vector velocidade, linear e angular, referente ao referencial do veículo.

Os vectores que representam o movimento de um corpo rígido com 6 graus de liberdade são dados por:

$$\eta = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad \nu = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad \tau = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ K \\ M \\ N \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

O referencial do robô subaquático (x, y, z) através de 3 rotações elementares em torno dos eixos (xb, yb, zb). Os ângulos de Euler efectuem estas rotações para cada eixo. Para o eixo xb a rotação é efectuada por phi ϕ , o eixo yb a rotação é realizada por theta θ e por fim zb sofre rotação por psi ψ . A rotação de um corpo 3D

de um referencial A para um referencial B é dado pela multiplicação das 3 seguintes matrizes [62]:

$$R_{x\phi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$R_{y\theta} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$R_{z\psi} = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Em suma, temos a combinação das três matrizes apresentadas anteriormente que resultam na seguinte matriz:

$$J1(\eta_2) = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & -\sin\psi \cos\phi + \cos\psi \sin\theta \sin\phi & \sin\psi \sin\phi + \cos\psi \sin\theta \cos\phi \\ \sin\psi \cos\theta & \cos\psi \cos\phi + \sin\psi \sin\theta \sin\phi & -\cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta \sin\phi & \cos\theta \cos\phi \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Pontos de Referência de um Corpo definido relativamente ao CO:

CG - Centro de gravidade

CB - Centro de flutuabilidade

CF - Centro de flutuação

O centro de gravidade de um corpo rígido é o ponto tal que, se imaginarmos o corpo suspenso por este ponto e com liberdade para girar em todos os sentidos ao redor deste ponto, o corpo permanecerá em repouso e preservará sua posição original, qualquer que seja a orientação do corpo em relação à Terra.

O centro de flutuabilidade é o centro de gravidade correspondente ao volume de água deslocado quando este é mergulhado na água.

O centro de flutuação é o centróide (centro de massa de um objecto geométrico de densidade uniforme) da área plana de água ocupada. O centro de flutuação é simbolizado pelos dois seguintes termos:

- LCF \rightarrow Centro longitudinal de Flutuação;

- C/L \rightarrow Centro Transversal de Flutuação.

3.5 Tipos de reservatório/Diferentes sistemas de variação de flutuabilidade

Os sistemas de variação de flutuabilidade podem ser estáticos ou activos. Os sistemas de lastro estáticos envolvem a realização de ajustes do lastro do veículo antes do mergulho. Estes são obtidos adicionando ou removendo pesos ou sistemas flutuantes (espumas de flutuação). Este ajuste visa dotar o veículo de um lastro apropriado durante todo o mergulho. Assim sendo, um sistema de lastro estático não faz qualquer ajuste de lastro durante a submersão. De forma a executar esta tarefa durante o mergulho, o veículo terá de utilizar dispositivos de variação de volume ou dispositivos de variação de massa, borrachas de dimensão variável, ou outro tipo de material. De forma a atingir, um ajuste de lastro activo os seguintes métodos são apresentados:

- Reservatórios que contêm óleo: o veículo é equipado com borrachas flexíveis fora do casco. Quando o óleo dentro do reservatório é bombeado para as borrachas elas sofrem uma expansão, e conseqüentemente o volume aumenta, aumentando assim a força flutuante sem adição de peso. Quando o óleo é bombeado novamente para dentro do reservatório interno, a força flutuante irá diminuir e o veículo obterá flutuabilidade negativa;
- Tanque de variação de flutuabilidade: o veículo é equipado com tanques rígidos resistentes à pressão dentro ou fora do casco. Estes podem ser esvaziados ou enchidos com recurso a água e com auxílio de uma bomba de pressão. Estes sistemas por vezes possuem tanques adicionais que acondicionam o ar que está contido no tanque principal, antes destes serem inundados com água;

- Tanques de lastro variáveis: estes tanques são realizados com materiais que permitem variar o seu volume. À medida que se quer obter flutuabilidade positiva injecta-se ar pressurizado para dentro desses tanques. Este método não é viável para grandes profundidades porque a quantidade de ar pressurizado requerido é muito elevado. Uma variante destes tanques é a colocação de água no seu interior, juntamente com o ar, para alcançar flutuabilidade negativa, e o oposto para regressar à superfície;
- Tanque de equilíbrio ou tanque de ajuste: este tipo de tanque ajusta o *pitch* sem mudar o equilíbrio entre peso e a flutuabilidade. O veículo é equipado com um tanque na proa e outro na popa. Um líquido é movido entre dois tanques de forma a alterar o peso e consequentemente ajustar o *pitch*.
- Mecanismos de mudança de peso, que ajustam o *pitch* e o *roll* sem mudar o equilíbrio, o peso e a flutuabilidade. O veículo tem um sistema mecânico que altera o *pitch* e o *roll*. Podem ser utilizado meios mecânicos e sensores electrónicos para alterar a posição das baterias para ter um um ângulo de descida ou subida ideal.
- Adição de pesos, variando massa/peso: o veículo é equipado com peso adicional tornando-o negativamente flutuante de forma a mergulhar suavemente. Quando tem de vir à superfície o peso adicional é solto, tornando o veículo com flutuabilidade positiva. Este sistema encontra-se em desuso devido a ser demasiado poluente, e tem a desvantagem de não ser reutilizável na mesma missão.

3.6 Centro de gravidade

A distribuição do peso num veículo irá afetar o seu centro de gravidade. O centro de gravidade pode ser calculado para várias partículas, sendo que, a cada partícula está associado uma massa m_i e está localizado uma coordenada r_i . O centro de gravidade para um determinado sistema de várias partículas é representado pela seguinte expressão:

$$CG = [Xg, Yg, Zg] = 1/M \sum_{i=1}^n m_i r_i \quad (3.12)$$

As forças actuantes no plano vertical do veículo são:

$$Fg = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ W \end{Bmatrix} \quad (3.13)$$

Um veículo totalmente submerso tem flutuabilidade neutra quando o peso do objecto actuando no centro de gravidade é igual à força de impulsão, actuando no centro de flutuabilidade. Para um objecto com distribuição de massa homogéneo, a localização do centro de gravidade irá coincidir com o centro de flutuabilidade. Contudo, se o objecto não tiver uma distribuição de massa homogénea, a localização do centro de gravidade não irá coincidir com o centro de flutuabilidade.

Dependendo das localizações relativas do centro de gravidade CG, e do centro de flutuabilidade CF, um objecto submerso pode ter três estados de equilíbrio:

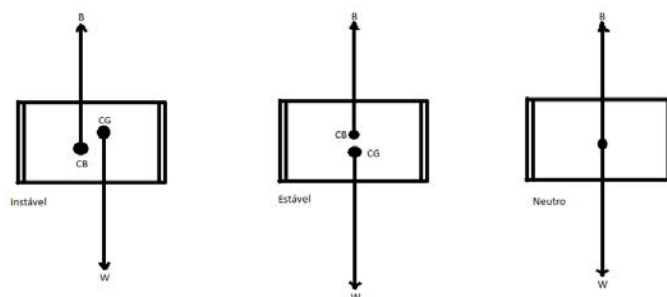


Figura 3.5: Localizações do centro de gravidade e centro de flutuabilidade

Quando se fala em estabilidade de um veículo deve-se ter em conta três propriedades: flutuabilidade, orientação e estabilidade. A flutuabilidade refere-se à capacidade do veículo para flutuar na água. Depende de duas forças opostas:

- Peso - força de direcção vertical sentido descendente;
- Impulsão - força vertical sentido ascendente.

A orientação do veículo, dada por, *yaw*, *pitch*, *roll*, são os ângulos referentes aos três eixos do referencial. Qualquer desvio ao longo do eixo do X do centro de gravidade e do centro de flutuabilidade, resultará na alteração/variação do posicionamento do veículo. A estabilidade do veículo depende das localizações do centro de gravidade e do centro de flutuabilidade. Para assegurar a estabilidade do centro de gravidade, este deve estar posicionado debaixo do centro de flutuabilidade, de forma a que quanto

maior a distância entre eles, maior será a estabilidade.

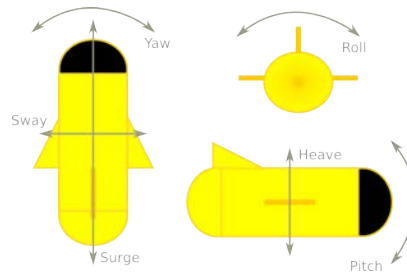


Figura 3.6: Orientação e estabilidade do veículo referente ao centro de gravidade adaptado de ¹³

3.7 Centro de flutuabilidade

Foi no século 3 a.C. (287 a 212 a.C.) que o sábio Arquimedes deu a conhecer ao mundo duas leis fundamentais no domínio da flutuabilidade [63]:

- Um corpo imerso num fluido está sujeito a uma força de ascensão vertical igual ao peso de fluido que desloca;
- Um corpo flutuante desloca o seu próprio peso no fluido que flutua.

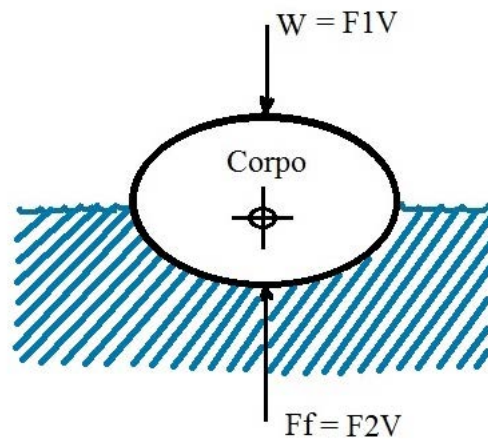


Figura 3.7: Diagrama força de flutuabilidade VS peso

¹³<https://thecontinuum.com/2012/09/24/arduino-imu-pitch-roll-from-accelerometer/> acedido em 20/05/2017

O diagrama da Figura 3.7 demonstra que a força de flutuabilidade depende do volume do corpo imerso no fluido, da densidade do fluido e da gravidade.

A força de flutuabilidade tem uma linha de ação que passa pelo centro de volume do corpo deslocado, sendo o centro de massa calculado considerando a densidade do corpo como sendo uniforme.

A força de flutuabilidade tem ação num ponto do objeto, sendo denominado por centro de flutuabilidade (CF), como é ilustrado na Figura 3.8.

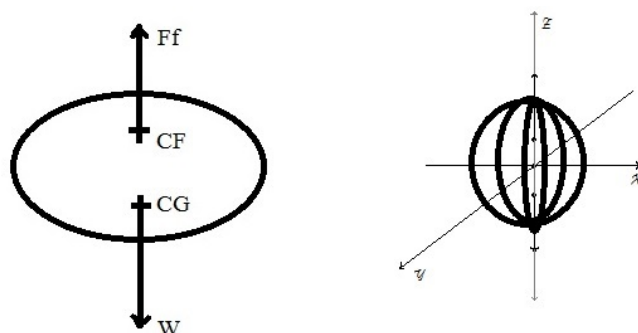


Figura 3.8: Centro de flutuabilidade VS Centro de gravidade

- CG = Centro de gravidade do objeto;
- CF = Centro de flutuabilidade do objeto;
- Ff = Força impulsão [N];
- W = Peso do volume de água deslocado pelo objeto [N].

$$Ff = \rho \times g \times V \quad (3.14)$$

Dependendo do tipo de água (salgada ou doce) um objecto submerge, e imerge ou estabiliza numa dada posição consoante o peso é menor ou maior do que a impulsão:

Para a água salgada a densidade é de $\rho \simeq 1020 \text{ kg/m}^3$ e para água doce de 980 kg/m^3 .

O peso aparente de um objeto quando mergulhado num fluido resulta precisamente na força contrária ao peso. Quando um objeto desloca água, a água que o rodeia tem tendência a preencher o espaço que objeto ocupa no momento. A água irá exercer pressão e força sobre o objeto. Uma vez que a pressão aumenta com a profundidade,

a força induzida pela pressão sobre a parte inferior de um objeto é maior que a força induzida pela pressão atuando no topo do objeto. A força de flutuação é a diferença entre a maior força produzida pelo local onde é exercido maior pressão (debaixo do objeto) e a menor força produzida onde há menor pressão, empurrando o objeto para baixo.

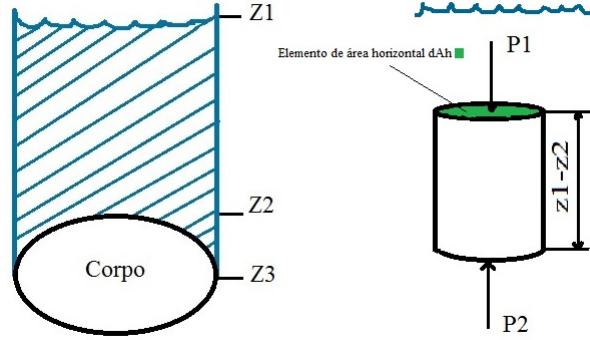


Figura 3.9: Representação da pressão efectuada num corpo submerso

$$(z2 - z1) dAh = \rho g V \quad (3.15)$$

$$Ff = \int (P2 - P1) dAh = \rho g \int (z1 - z2) \quad (3.16)$$

$$P1 = \rho g (z2 - z1) \quad (3.17)$$

$$P2_{\text{paralelipipedo}} = \rho g (z3 - z2) \quad (3.18)$$

$$P2_{\text{meiaelipse}} = \rho g \left(\frac{4}{6} \pi a b c \right) \quad (3.19)$$

$$P2_{\text{total}} = P2_{\text{paralelipipedo}} - P2_{\text{meiaelipse}} \quad (3.20)$$

$$P_{\text{total}} = P1 + P2_{\text{total}} \quad (3.21)$$

3.7.1 Princípio de Arquimedes:

A magnitude da força flutuante de um objeto imerso num fluido é igual à magnitude do peso do fluido deslocado pelo objecto.

“um objeto total ou parcialmente imerso num líquido sofre ação de uma força vertical, de baixo para cima (sentido ascendente) de intensidade igual ao peso do fluido deslocado por esse objeto”.

- Força flutuante:

$$F_f = I = \rho g V \text{ (equação 3.13);}$$

F_f = Força flutuante [N];

I = impulsão [N];

ρ = densidade de fluido [kg/m³];

g = aceleração da gravidade [m/s²];

V = volume [m³]

- Peso:

$$W = m g \tag{3.22}$$

W = peso [N];

m = massa [kg];

g = aceleração da gravidade [m/s²];

3.7.2 Força de arrasto

A força de arrasto é a força que se opõe à velocidade quando um objeto atravessa um fluido (água ou ar).

Existem dois tipos:

- Superfície: depende maioritariamente da suavidade da superfície do objeto;

- Forma: depende maioritariamente da área de secção do corpo presente no fluido.

$$F_d = \frac{C_d \rho A v^2}{2} \tag{3.23}$$

F_d = Força de arrasto [Unidimensional];

C_d = Coeficiente de arrasto [Unidimensional],

ρ = Densidade do fluido [kg/m^3];

v = velocidade do objeto [m/s]

3.7.3 Profundidade

A profundidade máxima requerida para este sistema são 150 metros. Sabendo que a profundidade aquática está directamente relacionada com a pressão podemos calcular a que altura um objecto face à superfície terrestre.

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atmosférica}} + P_{\text{manométrica}} \quad (3.24)$$

$P_{\text{atmosférica}}$ = pressão exercida pelo ar sobre a superfície terrestre.

$P_{\text{manométrica}}$ = pressão exercida pelo fluido sobre o objecto.

$$P_{\text{absoluta}} = 101325 + \rho g h \quad (3.25)$$

ρ = densidade da água do mar [Kg/m^3]

g = aceleração da gravidade [m/s^2]

h = profundidade requerida [m]

$$P_{\text{abs}} = 101325 + 1025 * 9,81 * 150 \quad (3.26)$$

$$P = 1\,609\,613 \text{ Pa} = 16,09 \text{ Bar} = 16 \text{ Bar} \quad (3.27)$$

- Flutuabilidade positiva: força impulsão > peso objecto \rightarrow objecto flutua
- Flutuabilidade neutra: força impulsão = peso objecto \rightarrow objecto estacionário
- Flutuabilidade negativa: força impulsão < peso objecto \rightarrow objecto afunda

O ponto de trabalho da força de gravidade é o centro de massa do corpo. O desempenho dos submarinos e dos ROV's é maior, quando a sua flutuabilidade é aproximadamente neutra. O objectivo para os ROV's é serem ligeiramente positivos relativamente à sua flutuabilidade. É uma vantagem, uma vez que:

- Permite o veículo flutuar à superfície;
- Torna eventuais modificações mais fáceis quando o veículo está à superfície;
- Caso o veículo necessite de *trimming*, acrescentar peso é mais acessível do que retirar.

3.8 Controlo de Motores

Nesta secção iremos detalhar o controlo de um motor DC em termos de velocidade e sentido de rotação

3.8.1 Controlo através de Pulse With Modulation

O PWM é uma técnica de modulação que pode ser utilizada para simular uma tensão estática variável, através de uma onda quadrada modulada. Relativamente ao controlo de velocidade de um motor eléctrico o simples ligar/desligar, por vezes, não é suficiente. Assim, para controlar a velocidade de um motor, foi aplicado o método PWM.

O efeito da comutação de alta frequência com largura de pulso variável no motor DC, traduz-se na prática numa conversão digital-analógica uma vez que o motor actua como filtro.

O PWM é ajustado recorrendo aos seguintes parâmetros: *clockcycle* e *dutycycle*. O primeiro é a frequência do sinal medida em Hz. A frequência do PWM é constante e costuma ter um valor elevado para não afetar o funcionamento do aparelho que se pretende controlar. O *DutyCycle* é a percentagem correspondente ao estado positivo da onda quadrada comparada ao período do sinal. O período do PWM corresponde ao tempo de ciclo de uma onda. Com o PWM, é possível obter uma onda quadrada na qual se pode variar comprimento do pulso [64].

$$DutyCycle = 100 \times \frac{Comprimento\ do\ Pulso}{Período} \quad (3.28)$$

$$Período(T) = \frac{1}{Frequência(H)} \quad (3.29)$$

A quantidade de energia enviada corresponde à área que está por baixo do estado positivo da onda quadrada:

$$P_{\text{enviada ao aparelho}} = P_{\text{Fornecida}} \times \text{Duty Cycle} \quad (3.30)$$

- Duty Cycle: valor em %
- Largura do pulso: tempo em que o sinal está ligado
- Período: tempo de um ciclo da onda

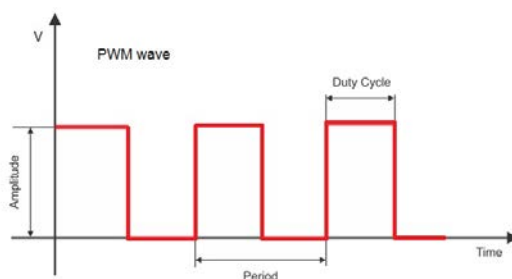


Figura 3.10: Gráfico PWM adaptado de ¹⁴

3.8.2 Controlo de Motores DC

A ponte H permite controlar o sentido da rotação (horário ou anti-horário). Ao ligar um motor DC a uma fonte de alimentação, observamos que ele gira numa velocidade constante e numa única direção. O sentido da rotação do motor é contrário se ligarmos os terminais do motor de forma invertida. A ponte H substitui a ação anterior. Na sua disposição mais simples a ponte H é constituída por 4 transístores. Após o sistema ser desligado, a indução do motor provoca o movimento de corrente no circuito podendo causar danos nos transístores. A solução é adicionar um diódo em paralelo em cada transístor com a finalidade de drenar a corrente que poderia forçar a passagem com transístores. Na ligação entre transistor e microcontrolador são colocadas resistências em série limitando a corrente entre a base do transistor e o microcontrolador. O sinal transmitido à ponte H pelo microcontrolador é PWM, regulando a tensão entregue à carga.

¹⁴<http://www.zembedded.com/avr-introduction-to-pwm-part-i/> acedido em 9/06/2017

¹⁵<https://arduinobymyself.blogspot.pt/2012/08/ponte-h-controle-de-motores-dc.html> acedido 11/06/2017

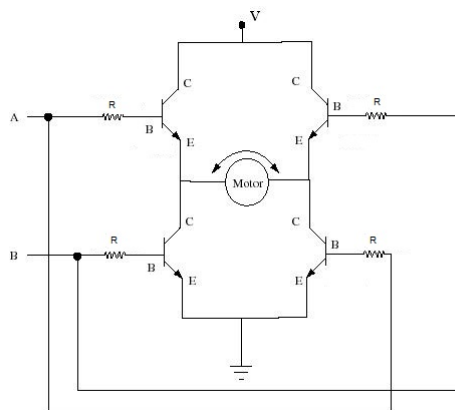


Figura 3.11: Modelo ponte H para motores DC adaptado de ¹⁵

3.8.3 Controlo de Motores Brushless

Os motores *brushless* tal como o nome indica são motores 'sem escovas', e assim sendo, não há ligação entre o rotor e o estator. A actuação destes motores é realizada electrónicamente lendo um sensor que indicam a posição actual do rotor. Estes tipo de motores possui uma comutação trapezoidal envolve o activação de duas fases de cada vez, enquanto que, a comutação sinusoidal realizada pelos motores BDC envolve a activação de três fases [65]. Estes motores contrariamente referidos na secção 3.8.2 têm perdas muito reduzidas e possuem uma eficiência elevada. Existem motores *brushless* com dois enrolamentos e motores *brushless* com três enrolamentos. Os motores com três enrolamentos possibilitam o controlo de correntes alternadas trifásicas [64]. Os motores BLDC têm geralmente 4 bobines e 4 ímanes. O sensor Hall é um tipo de sensor acoplado nos motores BLDC que permite distinguir que tipo de pólos está na sua direção. Quando o sensor deteta, por norma, o pólo sul, mantém a bobina desligada. O sinal proveniente do sensor hall permite o controlo da velocidade de um motor *brushless*.

3.9 Microcontroladores

Os microcontroladores são aparelhos constituídos por vários componentes num circuito integrado. São dispositivos que costumam ter um microprocessador, memória RAM, memória ROM, contadores, porta séries, temporizadores, con-

¹⁶http://pcbheaven.com/wikipages/How_Brushless_Motors_Work/ 12/06/2017

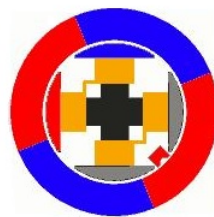


Figura 3.12: Motor Brushless adaptado de ¹⁶

versores e portas de I/O, pinos GPIO, PWM, I2C entre outros. Ao ter este conjunto de elementos os microcontroladores são capazes de efectuar múltiplas tarefas em simultâneo das mais diversas áreas de trabalho. Para corresponder ao que o utilizador do microcontrolador quer fazer, é necessário programá-los. A tarefa de programar pode ser escrita em várias linguagens. Uma das mais comuns é a linguagem C.

Como exemplo podemos referir alguns tipos de microcontroladores como os:

Advanced RISC Machine (ARM) - que são da família de microcontroladores fabricados pela ARMHoldings;

PIC - que são da família de microcontroladores fabricados pela Microchip;

ATMega - que são da família de microcontroladores produzidos pela ATMEL

3.9.1 Arquitectura ARM/Cortex

O microcontroladores ARM/CORTEX são dispositivos que utilizam microprocessadores de 32 Bits. Estes microcontroladores têm um baixo consumo e elevada capacidade de cálculo. Têm como principais características:

- Fonte de alimentação pela placa:
 - USB VBUS ou fonte externa (3.3V, 5V, 7 - 12V);
 - Ponto de acesso à forma como é distribuída a energia;
- 3 LEDs:
 - (LD1) comunicação USB;
 - (LD2) utilizador LED ;
 - (LD3) alimentação externa LED ;

- Suporta 3 tipos de interfaces diferentes via USB:
 - *Virtual COM port*;
 - Armazenamento em massa;
 - Porta de deteção de erros;
- Vários ambientes de desenvolvimento integrado suportados: (IDEs) incluindo IAR, ARM Keil, GCC-based IDEs.

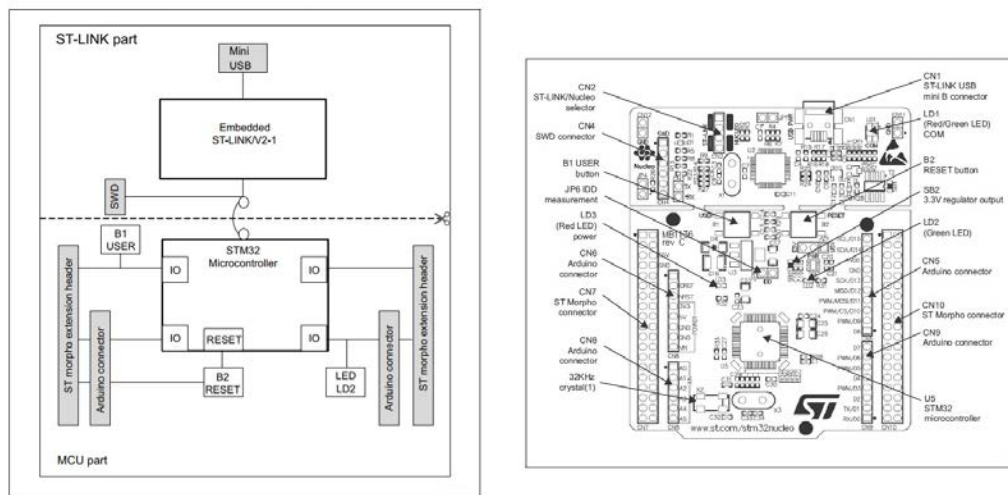


Figura 3.13: Diagrama de configuração e placa de desenvolvimento para microcontrolador ARM STM32 F103RB obtido de ¹⁷

3.10 Algoritmos de controlo

Existem vários algoritmos de controlo como por exemplo *Backstepping*, *Sliding Mode*, *Fuzzy Logic*, *Linear Quadratic Regulator* e o PID. Nesta dissertação pretendemos implementar o controlo PID. Uma das razões prende-se com a sua simplicidade e a não necessidade de conhecimento do modelo do sistema a controlar. O PID é um algoritmo de controlo muito utilizado na indústria para controlo de sistemas. O PID é composto por três componentes, proporcional, integral e derivativo, sendo que a configuração destes três componentes é possível alcançar uma resposta com resultado mais satisfatório.

Inicialmente, o controlador recebe um pedido de *setpoint* e compara-o com o *feedback* obtido. O setpoint pode responder à questão "*Onde o sistema quer estar*"? e o

¹⁷http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/98/2e/fa/e0/82/43/b7/DM00105823.pdf/

feedback tem a resposta para "Onde é que o sistema está neste momento?". A diferença entre o *setpoint* e o *feedback* é apelidada de erro (ε). A tarefa do controlador é eliminar o erro na posição desejada, colocando o sistema nesta afirmação: "a posição onde estou é a posição onde quero estar". Os três componentes do PID originam uma resposta chamada de *output* com base no erro medido do processo do sistema.

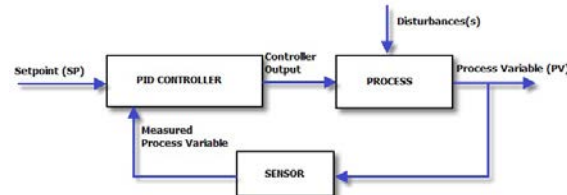


Figura 3.14: Diagrama de funcionamento PID adaptado de ¹⁸

3.10.1 Componente proporcional

A componente proporcional é o produto do ganho proporcional pelo erro registado $\varepsilon(t)$. Um ganho proporcional elevado ou um erro grande origina um *output* elevado. Ao ter um ganho proporcional elevado o controlador irá passar o alvo (*setpoint*) e o sistema terá uma oscilação grande. Esta oscilação é apelidada de *overshoot*.

$$\text{output proportional} = K_p \times \varepsilon \quad (3.31)$$

Onde K_p representa o ganho proporcional

ε (setpoint - actualpoint)

3.10.2 Componente integral

A componente integral tem como principal objectivo eliminar o erro de estado estacionário. Tal como o nome indica, este parâmetro integra o erro num período de tempo até que o seu valor seja 0 ou próximo deste. Ao ter um valor baixo de ganho integral permite ao sistema uma resposta temporal mais alta e ao mesmo tem diminuir o erro de estado estacionário.

$$\text{output integral} = K_i \times (It + \varepsilon \times t) \quad (3.32)$$

¹⁸https://www.csimn.com/CSI_pages/PIDforDummies.html

K_i → ganho integral

I_t → integral obtido no ciclo anterior

3.10.3 Componente Derivativo

A componente derivativa permite atenuar o erro. Este parâmetro depende da taxa de mudança do erro em relação ao tempo. O termo derivativo permite corrigir o erro actual mediante o erro que verificado imediatamente antes. Quando se aumenta o tempo derivativo, aumenta-se a velocidade de resposta de controlo do sistema.

$$\text{Output integral} = K_d \times \frac{\text{erro} - \text{erro}_{\text{ciclo anterior}}}{\Delta t} \quad (3.33)$$

k_d → ganho proporcional

Δt → diferença de tempo entre o valor de erro actual e o valor de erro imediatamente anterior.

Esta componente tem pois um efeito antecipativo, uma vez que depende da derivada do erro.

Na Figura 3.15 podemos observar o comportamento de um controlador PID tanto num estado transiente em que o *setpoint* é alcançado e ultrapassado, como também no estado estacionário em que o valor do erro tem tendência a diminuir com o tempo.

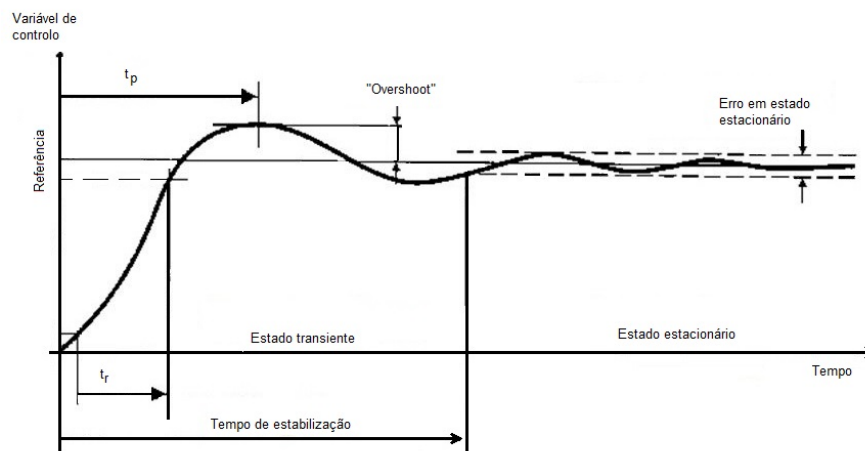


Figura 3.15: Gráfico controle PID adaptado de ¹⁹

Na tabela 3.3 é possível observar a afectação dos ganhos nos parâmetros envolvidos no controlo do PID.

Tabela 3.3: Tabela ganhos *vs* parâmetros PID [64]

Parâmetro	Tempo de subida	Overshoot	Tempo de estabilização	Erro estacionario	Margem de estabilidade
Kp	Diminui	Aumenta	Pouca interferência	Diminui	Diminui
Ki	Pouca interferência	Aumenta	Aumenta	Elimina	Diminui
Kd	Pouca interferência	Diminui	Diminui	Sem efeito	Aumenta

Tal como referido anteriormente, podemos desta forma ao ajustar os parâmetros K_p , k_i , K_d actuar no ganho total do controlador, erro em regime permanente ou efeito antecipativo. O algoritmo PID é assim uma ferramenta importante, simples, robusto e eficaz.

3.11 Protocolos de comunicação

A comunicação realizada entre um terminal de dados e um comunicador de dados pode ser efectuada de diversas maneiras. Existem diferentes tipos de comunicação, sendo os mais comuns os seguintes:

- *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART) este protocolo funciona entre dois dispositivos, no qual, um pacote de bits é enviado para posteriormente ser interpretado *bit a bit* pelo pino receptor. Cada pacote enviado contém 1 *start bit* que indica o início da mensagem, 1 ou 2 *stop bit* para indicar o final da mensagem, 5 a 9 *bits* de informação e 1 *bit* de paridade para evitar a recepção de erros.

- Porta Série (RS232) - é um tipo de comunicação que efectua a transferência de dados *bit a bit*. O envio ou recepção de dados é feito por condições de tensão, sendo que essas condições de tensão representam *bits*. Cada carácter é representado por uma sequência de bits. A velocidade de transmissão é expressa em *baudrate*, representando

¹⁹<https://on3dworld.wordpress.com/2016/02/26/controlador-proporcional-integral-derivativo-ou-simplesmente-p-i-d/>

quantos bits podem ser enviados por segundo. O intervalo de tensão de operação para este tipo de comunicação é entre + 12 V e - 12 V.

- Porta Série (RS485) - é um sistema de transmissão de dados que funciona com duas linhas de dados: uma linha de transmissão e uma linha de recepção, em que os níveis de tensão são iguais mas com polaridade diferente. É um tipo de comunicação que trabalha até distâncias próximas dos 1200 metros. As velocidades de transmissão podem ser altas para ligações de curta distância (10 Mbps) e são mais baixas (100 kbps) quando as ligações possuem uma distância maior.

- *Synchronous Peripheral Interface* (SPI) - é um tipo de comunicação utilizada entre dois ou mais dispositivos. O gerador de sinais pode comunicar com um ou mais dispositivos. Este sistema de comunicação utiliza 4 linhas de comunicação:

- Duas linhas de transmissão de dados:

- *Master Output Slave Input* (MOSI)

- *Master Input Slave Output* (MISO)

- Uma linha de controlo de transmissão de dados (SCLK)

- Uma linha que determina qual dos recetores recebe a transmissão de dados (SS). Este sistema tem a vantagem de se poder realizar em simultâneo o envio e recepção de dados.

- I2C é um protocolo que funciona com duas linhas de comunicação. Uma das linhas é para transmissão de dados *Serial Data* (SDA) e a outra é para controlo de transmissão de dados *Serial Clock* (SCL). Cada dispositivo de recepção de dados possui um endereço, composto por 7 bits e é através de esse endereço que o gerador de sinais comunica e sabe qual dispositivo que está a comunicar.

3.12 Estudo de materiais para o ambiente marinho

Esta dissertação envolveu o estudo de materiais para se ter um maior conhecimento dos materiais mais resistentes em ambiente marinho. Foram estudadas aços inoxidáveis, ligas de alumínio e polímeros.

3.12.1 Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são ligas ferro crómio. Os aços inoxidáveis possuem vários elementos de liga mas o crómio é considerado um dos mais importantes, pois confere propriedades anticorrosivas ao material. Este tipo de metal contém na sua superfície uma camada de óxido de crómio que impede o contacto do metal base com a atmosfera envolvente.

A classificação dos aços, quanto à sua formação divide-se em 3 fases:

Os austeníticos são ligas não-magnéticas de ferro-crómio-níquel compostas por 8% de níquel e baixo teor em carbono. Apresentam boas propriedades mecânicas, boa soldabilidade e elevada resistência à corrosão. Podem ser endurecidos por deformação e neste estado são ligeiramente magnéticos. A adição de elementos de liga como o molibdénio e a redução do teor do carbono melhoram sua resistência à corrosão e a sua dureza. São aços que apresentam elevada resistência no processo de maquinação.

Por sua vez os ferríticos são ligas ferro-crómio contendo de 12 a 17 % de crómio com baixo teor de carbono. Apresentam boa resistência à corrosão quando operam em ambientes menos agressivos, razoável soldabilidade, boa ductilidade. Estes materiais não são endurecíveis por tratamento térmico.

No que diz respeito aos martensíticos estes são ligas de ferro-crómio contendo de 12 a 14 % de crómio e com alto teor de carbono. São endurecíveis por tratamento térmico. Quando este tipo de aço é submetido ao processo de têmpera são muito duros e pouco dúteis, e é nesta condição que adquirem resistência à corrosão. Este tipo de aço quando submetidos ao tratamento térmico de recozido não apresentam boa resistência à corrosão atmosférica.

Os aços estudados foram o AISI 304, AISI 316 e o AISI 316 L. Estes 3 aços são austeníticos e uma das propriedades requeridas é a elevada resistência à corrosão, característica que é conferida neste tipo de aços.

A tensão de cedência no limite elástico do aço inoxidável 316 é a mais elevada colocando este aço, entre os três estudados, com a resistência mecânica mais elevada.

Tabela 3.5: Composição química dos aços inoxidáveis

Tabela 3.4: Características mecânicas aços inoxidáveis

Tipo	Densidade (kg/m ³)	σ Tensão de cedência limite elástico (MPa)	σ Tensão de cedência limite plástico (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
304	8000	215	505	193
316	8000	240	550	193
316L	8000	205	515	193

Tipo	Composição química (%)								
	C	Mn	Si	P	Smáx	Cr	Ni	Mo	N2
304	0.08	2	1.00	0.045	0.030	18 a 20	8 a 10.50	-	0.1
316	0.08	2	1.00	0.045	0.030	16 a 18	10 a 14	2 a 3	0.1
316L	0.03	2	1.00	0.045	0.030	16 a 18	10 a 14	2 a 3	0.1

O aço 304 apresenta maior percentagem de cromo para possuir elevada resistência à corrosão. No aço 316 e 316L a elevada percentagem de níquel origina o desenvolvimento e estabilização da austenite, conferindo maior resistência mecânica. Os aços com elevadas percentagens de níquel requerem, nos processos de maquinação, maior potência e menores velocidades, tanto de rotação como de avanço. A redução da percentagem de carbono no aço inoxidável austenítico 316L reduz a resistência mecânica e reduz a formação de carbonetos de cromo, o que conseqüentemente, aumenta a resistência à corrosão, sendo o aço que apresenta melhores propriedades anticorrosivas quando colocado em ambientes marítimos.

3.12.2 Ligas de alumínio

O alumínio é um metal que está presente em vários sectores industriais. As suas ligas apresentam baixa densidade, elevada ductilidade, boa condutividade térmica, elevada resistência à corrosão. A temperatura de trabalho do alumínio e suas ligas é limitado, uma vez que, a sua temperatura de fusão é de 660 ° C. A resistência mecânica do alumínio puro é reduzida, aproximadamente 90 MPa, no entanto, por aplicação de certos tratamentos esta resistência pode ser aumentada. Quando ao alumínio se adiciona certos elementos químicos obtém-se uma liga. As ligas de alumínio apresentam boas características mecânicas, sendo específicas para as mais variadas aplicações.

As ligas de alumínio dividem-se em dois grandes grupos: as ligas de trabalho mecânico e as ligas de fundição. As ligas de trabalho mecânico subdividem-se em duas partes: as ligas endurecíveis por tratamento térmico e as não endurecíveis por tratamento térmico, tal como pode ser observado na Tabela 3.6 .

Tabela 3.6: Tipos de ligas de alumínio

Série	Elementos de liga principal	Outros elementos de liga	Classificação quanto ao tratamento
1xxxx	Alumínio puro	-	Não tratáveis por tratamento térmico
2xxx	Cu	Mg, Li	Tratáveis por tratamento térmico
3xxx	Mn	Mg	Não tratáveis por tratamento térmico
4xxx	Si	-	Não tratáveis por tratamento térmico
5xxx	Mg	-	Não tratáveis por tratamento térmico
6xxx	Mg, Si	-	Tratáveis por tratamento térmico
7xxx	Zn	-	Tratáveis por tratamento térmico

As ligas de alumínio estudadas foram a 5083 O/H111, 6063-T6, 6082-T6 e 6082-T6. Estas ligas apresentam um bom comportamento quando aplicadas em ambiente corrosivo.

Tabela 3.7: Características mecânicas das ligas de alumínio estudadas

Liga	Tratamento	Tensão limite de cedência elástica	Tensão limite de cedência plástica	Dureza Brinel
5083	O/H111	115	270	70
6063	T6	214	240	73
6082	T6	250	290	90
7075	T6	503	572	150

A liga de alumínio 5083 O/H111 é a liga que apresenta menor resistência mecânica quando comparada às outras ligas. As ligas de alumínio 6063-T6 e 6082-T6 são ligas que contêm mágnesio e sílcio na sua composição química exibindo boas propriedades no que toca à resistência mecânica e resistência à corrosão. Estas duas ligas são facilmente maquináveis, o que permite realizar peças num curto espaço de tempo. A liga de alumínio 7075-T6 maior tensão de cedência no domínio elástico, apresentando a maior resistência entre as quatro ligas, no entanto a elevada dureza desta liga torna-a

difícil de maquinar quando comparada com as ligas da série 6000.

As ligas de alumínio podem-se apresentar nas seguintes condições metalúrgicas:

- F - Bruto de fabrico;
- O - Recozido;
- H - Encruado;
- W - Solubilizado;
- T - Tratado termicamente.

Os tratamentos térmicos permitem melhorar as propriedades mecânicas das ligas de alumínio. Os tratamentos mais comuns das ligas de alumínio são a solubilização e o envelhecimento. O tratamento térmico T6 consiste numa solubilização seguido de envelhecimento artificial. A solubilização consiste em aquecer o material a uma temperatura bem elevada, em geral relativamente próxima do ponto de fusão, de tal modo que nesta temperatura, com os coeficientes de difusão dos elementos de liga no alumínio já suficientemente aumentados, seja possível a migração de átomos, proporcionando uma dissolução total, depois de um certo tempo de permanência nesta temperatura. Esta etapa do tratamento térmico é fundamental para assegurar que o envelhecimento subsequente, realizado a temperaturas mais baixas, ocorra de modo controlado, para que os precipitados sejam formados de forma controlada.

O envelhecimento tem como objectivo a precipitação controlada da fase endurecedora na matriz previamente solubilizada. A temperatura e o tempo determinam a mobilidade dos átomos.

No final destes dois tratamentos a liga fica mais endurecida e com maior resistência mecânica.

A Figura 3.16 apresenta as diferentes ligas de alumínio existentes bem como as suas principais características.

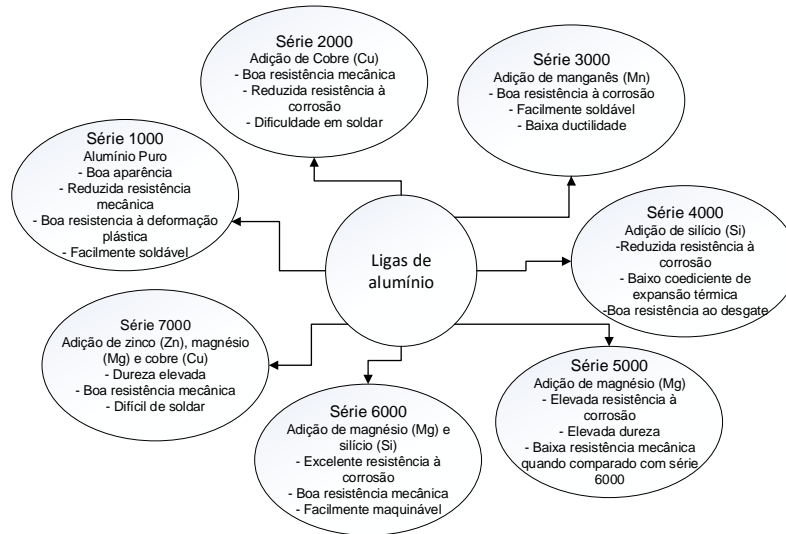


Figura 3.16: As diferentes séries das ligas de alumínio

3.12.3 Polímeros

Um polímero é um composto em que as moléculas se interligam compondo cadeias repetidas. São materiais que apresentam propriedades únicas e podem ser adaptados de acordo com a sua finalidade. São macromoléculas que resultam da união de várias moléculas pequenas, chamadas de monómeros.

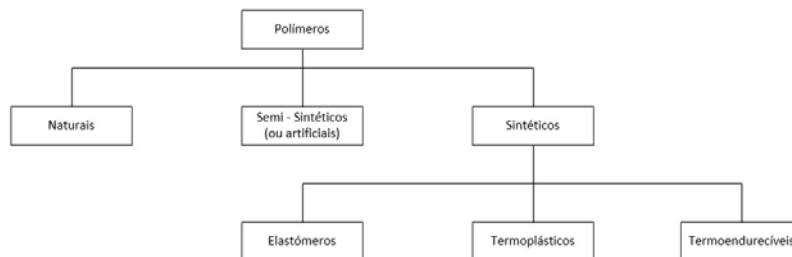


Figura 3.17: Classificação dos polímeros

A Tabela 3.8 mostra as principais características mecânicas de alguns polímeros que são utilizados tanto no dia a dia como nas diferentes indústrias.

Tabela 3.8: Características mecânicas de alguns polímeros

	Unidade	Polímeros comuns		Polímeros de engenharia		Polímeros de alto desempenho			
		PVC	PP	PC	PET	PTFE	PEI	PEEK	PI
Densidade	g/cm ³	1,4-1,45	0,91	1,2	1,37	2,18	1,27	1,32	1,35
Resistência à tensão	MPa	50	35	60	55	25	105	95	120
Alongamento à ruptura	%	2-40	>50	>50	>50	>50	>50	25	9
Módulo de elasticidade	MPa	2850	1300	2400	2500	700	3200	3000	4000
Absorção de água	%	0,55	0,1	0,2	0,2	0,01	2,6	0,1	0,3
Condutividade térmica	W/(k.m)	0,22	0,21	0,19	0,24	0,25	0,22	0,25	0,22
Temperatura de fusão cristalina	°C	80	165	148	255	327	215	343	540

Para além dos polímeros estudados na Tabela 3.8 estudou-se ainda o acrílico.

O acrílico, assim como o policarbonato, não tem um bom isolamento acústico e térmico, possui baixa resistência mecânica e baixa resistência química a solventes como a gasolina ou o álcool, mas apresenta boa visibilidade. Outra vantagem do acrílico é o preço.

Por outro lado, proporciona elevada resistência à radiação UV e elevada rigidez. O acrílico é utilizado, por exemplo, para placas de fachada de empresas, para proteger os faróis do carro e no setor hoteleiro e no sector hospitalar. É um material que em contacto com a água ou ambientes húmidos retém cerca de 2% de humidade e com essa absorção existe um aumento dimensional que pode ser de 0,35 %.

O acrílico é um material que apresenta uma boa resistência e comportamento quando em contacto com água doce ou salgada.

Capítulo 4

Projeto

Um dos objectivos principais do projecto consiste no desenvolvimento de um sistema multitrófico autónomo para monitorização biológica e química do ambiente marinho a diferentes profundidades. A figura 4.1 mostra a arquitectura de alto nível do projecto.

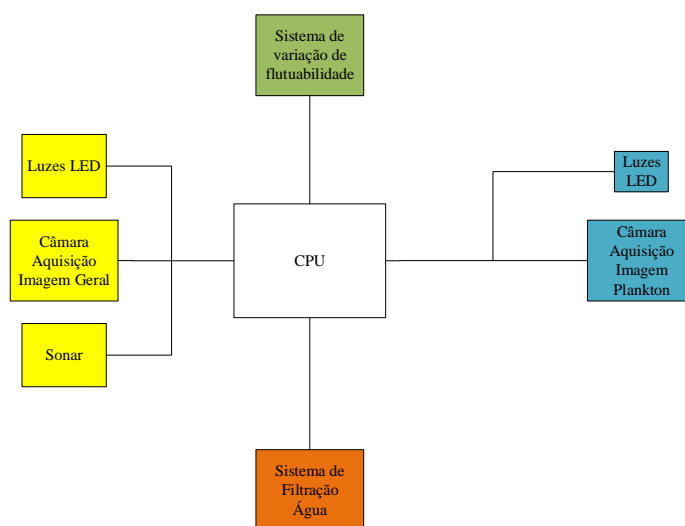


Figura 4.1: Arquitectura de alto nível do projecto

O sistema de monitorização autónoma consiste em diferentes módulos. São

eles:

- Sistema de filtração autónomo;
- Sistema de aquisição com alta resolução de *plankton*;
- Sistema de aquisição de imagem;
- Sistema de variação de flutuabilidade;
- Módulo computacional.

4.0.1 Sistema de filtração

O módulo constituído pelo sistema de filtração de água autónomo é capaz de coletar e preservar amostras planctónicas de tamanho diferente. A água é bombeada para o interior do cilindro por uma tubagem semirígida através de uma microbomba. Em seguida, a água passa pelo sensor de pressão e o sensor de fluxo regista a pressão e a quantidade de água que está a passar no circuito. A água chega ao *manifold* e uma das válvulas solenoides normalmente fechada é activada, permitindo a passagem da água para o cartucho de filtração apelidado de *Sterivex*. Saindo do *Sterivex* a água passa por uma válvula anti-retorno e chega a uma peça que reúne as diferentes tubagens provenientes dos vários *Sterivex*'s num só, sendo a água posteriormente expelida para o exterior.

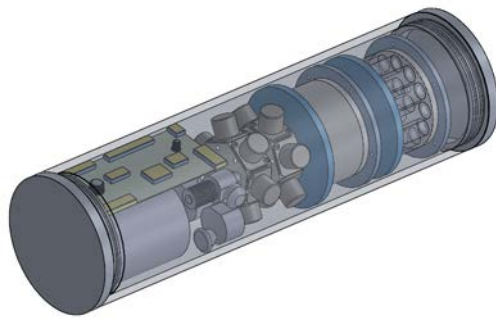


Figura 4.2: Idealização do cilindro que compõe o sistema de filtração

4.0.2 Sistema de aquisição de imagem com alta resolução de *plankton*

A Figura da 4.3 apresenta a idealização dos cilindros que compõe a estrutura de captura de imagens de *plankton*. É constituído por dois cilindros, um dos cilindros

contém uma câmara e uma lente telecêntrica e um outro cilindro composto por uma luz *Light Emitting Diode* (LED). A câmara telecêntrica e a luz LED são activadas simultâneamente para assim obter imagens nítidas.

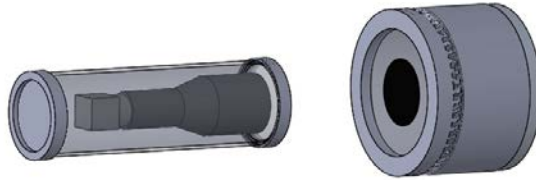


Figura 4.3: Idealização do sistema de aquisição de imagem de *plankton* em *Solidworks*

4.0.3 Sistema de aquisição de imagem

A Figura 4.4 representa a idealização do cilindro que contém a câmara que capta imagens do ambiente ao seu redor. Possui duas luzes dispostas ao seu lado que são activadas no momento de captura. O sonar que está colocado na parte superior do suporte deteta primeiramente actividade e posteriormente a câmara e as luzes são activadas para captura de imagem.

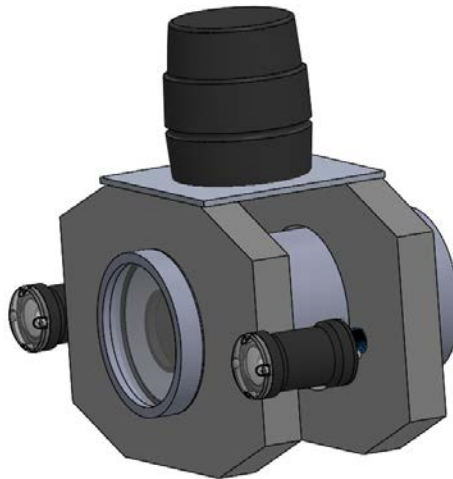


Figura 4.4: Idealização do sistema de aquisição de imagem geral em *Solidworks*

4.0.4 Sistema de variação de flutuabilidade

Um dos objetivos do projecto consiste na execução de um sistema de variação de flutuabilidade. Existem três variantes de sistema de variação de flutuabilidade sendo a primeira a variação por massa, a segunda é variação de ascensão por volume e por último existe a ascensão por libertação de lastro. A variação de flutuabilidade por volume é efectuada por um sistema em que o fluido é o óleo, e através de uma válvula o fluido atravessa o casco interno, passando a ocupar volume numa borracha de dimensão variável (*bladder*) no exterior do veículo. Este sistema ao efetuar o movimento contrário, permite ao veículo iniciar movimentos de descida na água. Assim, o objeto fica com menos volume e submerge no oceano. Nesta dissertação optou-se por utilizar um sistema de variação de flutuabilidade por massa, uma vez que este apresenta vantagens significativas em comparação com os outros sistemas apresentados, sendo que comparativamente com o sistema de variação de flutuabilidade por óleo poderia desenvolver algumas fugas e conseqüentemente contaminar o meio aquático. Comparativamente com ao sistema de variação de libertação de lastro optou-se pelo sistema de variação de flutuabilidade por massa, pois o sistema de variação de flutuabilidade não é reutilizável e ao mesmo tempo é poluente para o meio ambiente subaquático.

A Figura 4.5 representa de forma esquemática a primeira abordagem idealizada em termos mecânicos.

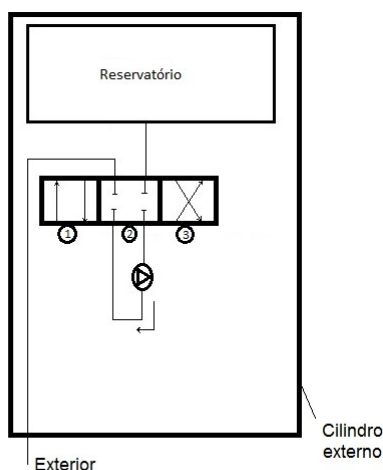


Figura 4.5: Esquema da primeira abordagem para o sistema.

Tal como é possível observar na Figura 4.1 o esquema inicial do sistema é

constituído por uma válvula solenóide de três posições, uma microbomba e um reservatório. A válvula solenóide de três posições e quatro vias assegura a entrada e a saída de água. A posição representada pelo número 2 na figura anterior mostra a válvula no estado fechado, não permitindo a circulação de fluido em qualquer sentido. A posição 1 permite a saída de água para o exterior e a posição 3 permite a entrada de água para o reservatório.

Na Figura 4.6 apresenta-se um novo esquema para o sistema em que a diferença para o anterior está na válvula solenóide, que transita de quatro vias e três posições para quatro vias e duas posições.

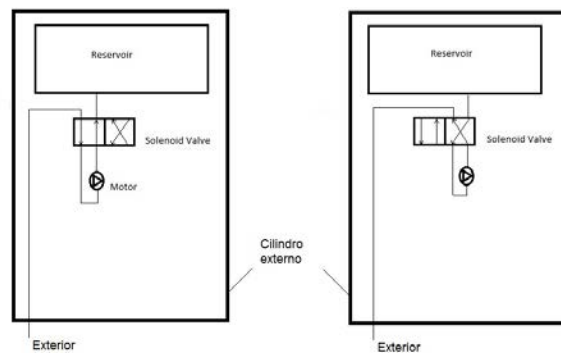


Figura 4.6: Esquema da segunda abordagem para o sistema

Neste caso, a abertura e fecho do circuito é controlado com a microbomba. Assim, quando esta não está em funcionamento, garante que a água não passe no circuito.

O esquema situado na Figura 4.6 apresenta que com a microbomba em funcionamento permite que o sistema receba água no respetivo reservatório. Por sua vez, no esquema situado à direita da mesma figura, observa-se o contrário pois a válvula solenóide altera a sua posição de maneira a que o sistema liberte água para o exterior. Embora não seja significativo, este sistema obriga a água a passar duas vezes pela válvula solenóide nas duas situações (introdução/extração de água), contribuindo para que o sistema tenha mais perdas.

Para corrigir esta limitação a alternativa encontrada-se ilustrada na Figura 4.7.

Este sistema apresenta um canal recorrendo a uma microbomba de fluxo

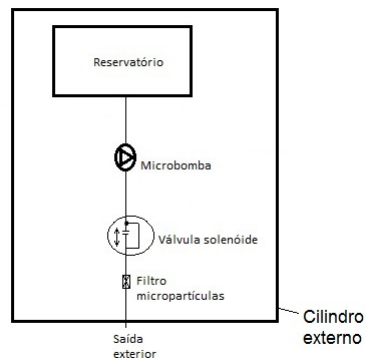


Figura 4.7: Esquema do terceiro conceito para o sistema

reversível. Foi necessário introduzir uma válvula solenóide de duas posições duas vias, normalmente fechada, com o intuito de ter o circuito fechado. Esta alternativa aparenta ser uma boa solução caso a válvula solenóide de duas posições duas vias com fluxo nas duas direcções não fosse uma alternativa dispendiosa, uma vez que tem de ser modificada no processo de fabrico, pois as válvulas solenóides duas posições duas vias existentes no mercado possuem apenas um sentido de movimento do fluído.

A solução encontrada seria a colocação de duas válvulas solenóides, como apresentado na Figura 4.8. Estas válvulas, são normalmente fechadas e operam num só sentido. Assim, uma delas permitirá a entrada de água no reservatório e a outra estará encarregue de extrair água do circuito.

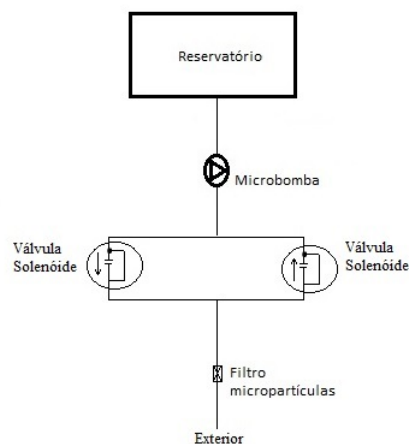


Figura 4.8: Esquema da abordagem final

Este sistema será colocado num cilindro de acrílico o qual terá uma conexão com o exterior por duas tampas realizadas em aço inoxidável. No lado exterior da tampa, optou-se por colocar um filtro de micro partículas para reduzir a entrada de resíduos no sistema.

No sentido de fornecer uma visão global dos componentes que o sistema inicialmente necessitava, foi realizado um diagrama detalhado na Figura 4.9.

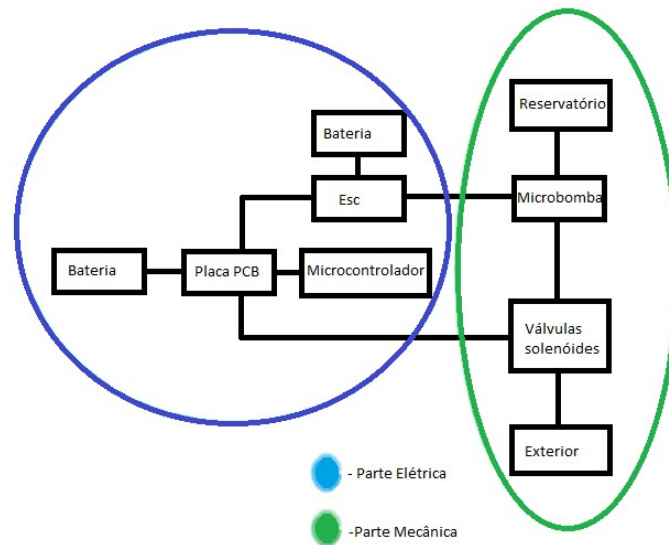


Figura 4.9: Arquitetura do sistema

Os principais módulos incorporados no sistema foram divididos em duas partes, sendo estas, a componente mecânica e a electrónica:

Mecânica:

- Reservatório - capacidade para receber ar e água;
- Microbomba - Tensão 24 V e diferencial de pressão 16 bar;
- Válvulas solenóides - Tensão 24 V e diferencial de pressão de 16 bar;
- Tubagem - diferencial de pressão de 16 bar;
- Conectores de ligação - engates rápidos realizados em polipropileno;
- Tubo semirígido que seja robusto e resistente apresentando compatibilidade química com a água salgada para interligar todos os componentes.

Todos estas peças mecânicas referenciadas devem ser resistentes e compatíveis à água salgada.

Electrónica

- Fonte de alimentação 30 V / 3 A;
- Placa de controlo com plano de massa isolado do plano de massa de potência;
- Controlo electrónico de velocidade 24V ;
- Bateria LiPo (bateria que contem saís de litio retidos num polímero sólido de óxido de polietileno) para controlo electrónico de velocidade 24 V;
- Microcontrolador Arm, capacidade de activar GPIO, PWM, Porta Série e I2C;
- Cabo de 30 metros Ethernet CAT6 com ficha DB9 de num dos terminais e ficha subcon no outro terminal;
- Sensor de pressão com capacidade para medir pressões até 16 bar.

O sistema foi inicialmente projectado em *Solidworks*, como pode ser observado na Figura 4.10.

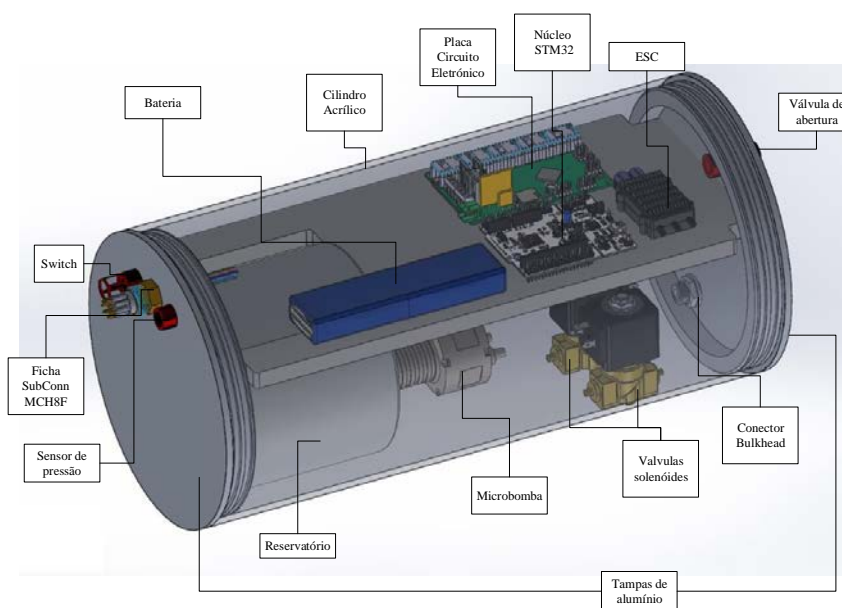


Figura 4.10: Modelo em *SolidWorks*

4.0.5 Módulo computacional

A Figura 4.11 mostra o cilindro idealizado para agregar a maioria dos componentes eletrónicos. No seu interior encontra-se uma bateria, um *hub*, uma placa de controlo electrónico, um microcontrolador e um PC embebido e um *Access point wireless*.

As missões tanto de filtração como de recolha de imagens são pré estabelecidas via *website* por um *smartphone*.

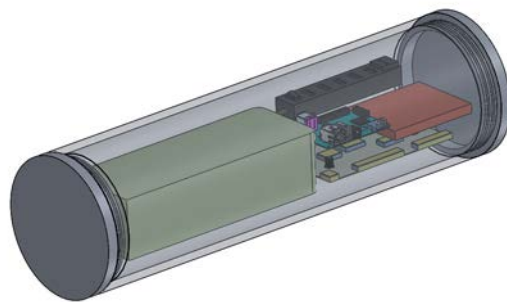


Figura 4.11: Idealização do cilindro que reúne os vários componentes electrónicos em *SolidWorks*

A Figura 4.12 mostra a ideia conceptual do projecto numa estrutura que agrega os diferentes subsistemas realizado em *Software Solidworks*.

A solução apresentada cumpre os objetivos propostos na dissertação bem como do projeto MarinEye. Na Figura 4.12 é apresentado a estrutura final do projecto onde se inclui todos os módulos detalhados na arquitectura de alto nível.

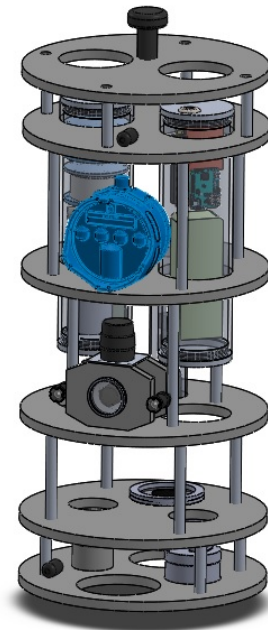
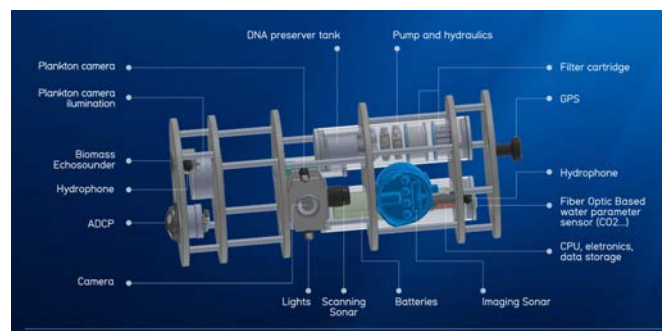


Figura 4.12: Estrutura final do projecto

A Figura 4.13 descreve todos os componentes que integram o sistema de monitorização.

Figura 4.13: Arquitetura do *Marineye*

Capítulo 5

Implementação

Neste capítulo, tendo por base os conhecimentos obtidos no capítulo 2 e 3 irá ser abordado o processo de concepção do sistema de variação de flutuabilidade e do protótipo Marineye.

5.1 Arquitectura detalhada do sistema desenvolvido

A arquitectura de sistema está representada na Figura 5.1.

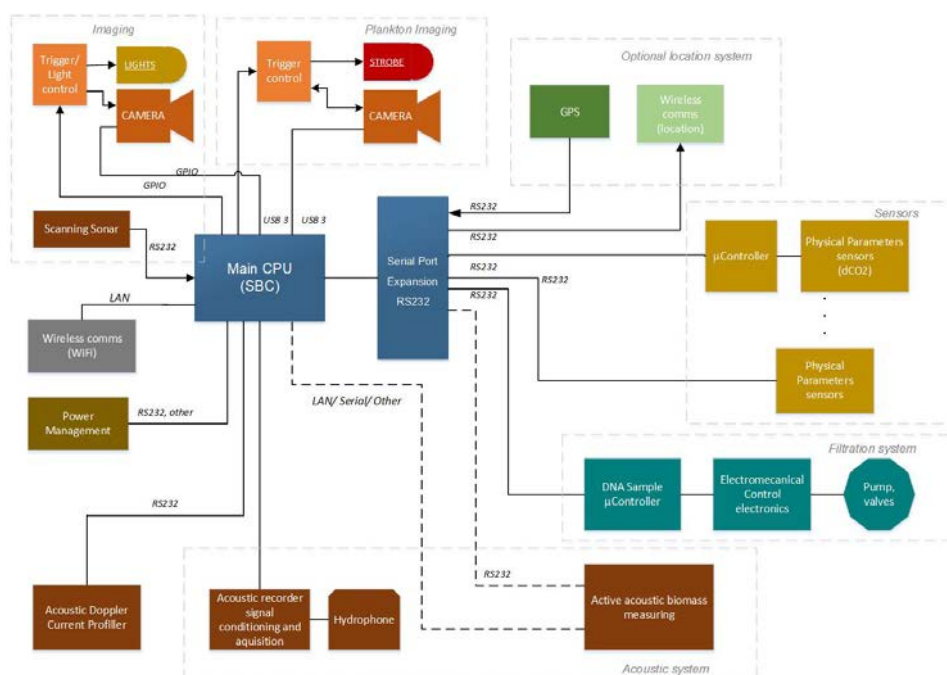


Figura 5.1: Arquitectura do sistema

Como é visível na Figura 5.1 o CPU está responsável pelas principais actividades do sistema. No sistema de aquisição de imagem geral, assim que o sonar detectar actividade marinha, um *trigger* é aplicado às luzes e à câmara de forma a ser captado o momento com maior clarividência. Na aquisição de imagens de *plankton* um *trigger* é ser aplicado a um sistema de luz LED de alta intensidade em simultâneo com uma câmara telecêntrica. No caso do sistema de filtração, este recebe mensagens via Porta Série (RS232) provenientes do CPU central e activa os diferentes componentes electromecânicos que auxiliam o processo de filtração da água.

Neste sistema, para se obter as diferentes amostras de plankton a água é bombeada para os cartuchos de filtração, designados por *Sterivex*. Antes do sistema ser inicializado, o operador define os seguintes parâmetros de missão:

- Pressão a ser aplicada pela bomba de água;
- Volume de água;
- Profundidade;
- Número de amostras.

5.2 Sistema de filtração

O diagrama da Figura 5.2 demonstra a composição eletromecânica do sistema de filtração concebido.

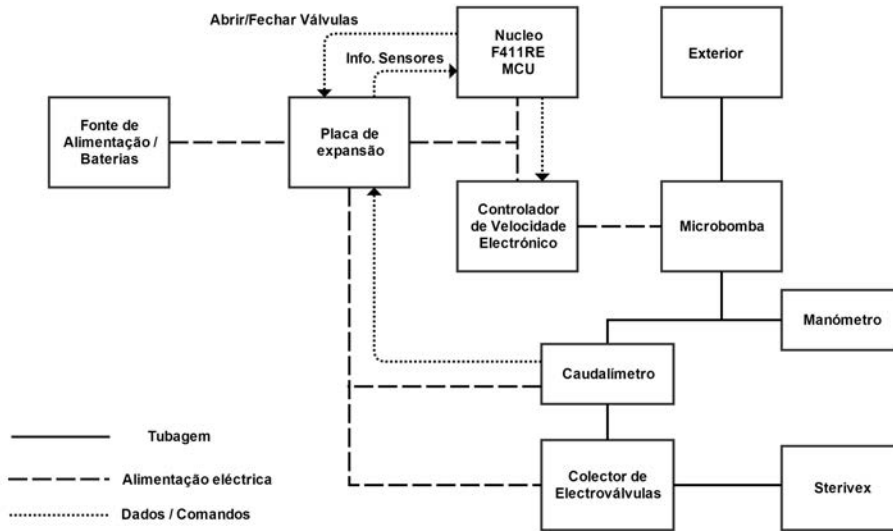


Figura 5.2: Diagrama do sistema de filtração

5.2.1 Processo de filtração

A fim de automatizar o processo de coleta e preservação de amostras, a estrutura do software foi adaptada, resultando numa arquitetura funcional, onde o usuário pré-define uma série de entradas para criar uma missão de filtração. Esta missão é então carregada para o CPU MarinEye e este executará em conformidade com os parâmetros estabelecidos.

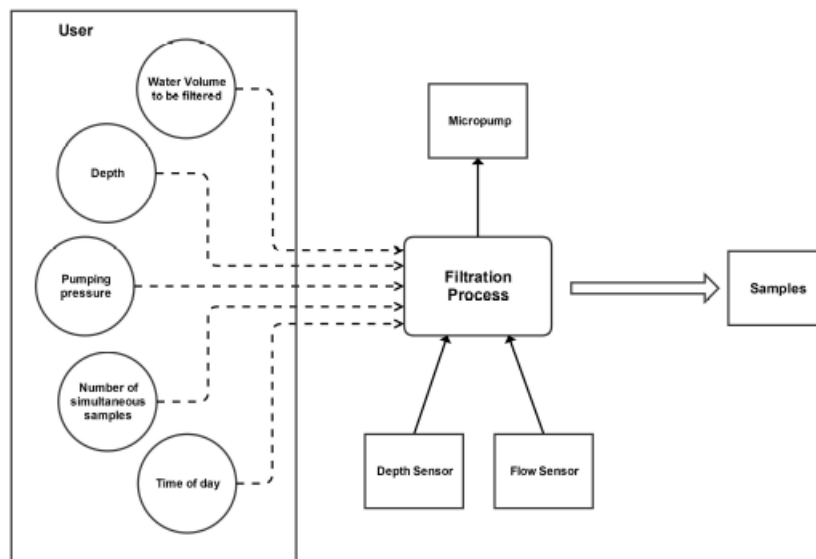


Figura 5.3: Diagrama de software do sistema de filtração

As entradas da missão do utilizador são: volume de água a ser filtrada, pressão máxima do sistema, profundidade em que começa a filtração, número de amostras simultâneas, hora do dia para iniciar esta missão (por exemplo, 17h). Para a tarefa de filtração, uma máquina de estados foi implementada para automatizar os processos de coleta e preservação de amostras e registro de todos os dados relevantes, após a missão ter sido previamente configurada pelo usuário, como pode ser visualizada na Figura 5.4.

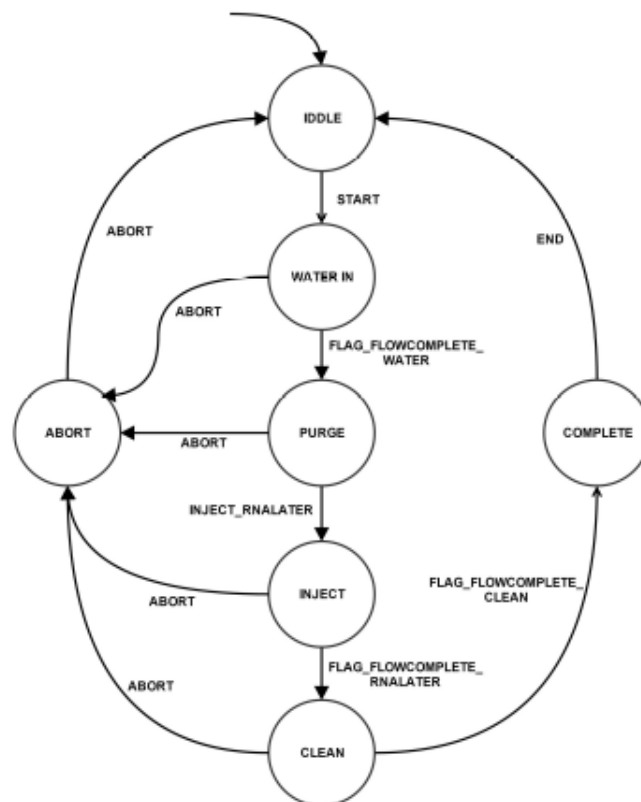


Figura 5.4: Máquina de estados implementada no sistema de filtração

5.3 Sistema de aquisição de imagens de alta resolução de *plankton*

O sistema de aquisição de imagens de alta resolução é constituída por uma câmara de 18MP e um sistema de luz que efetua o disparo em modo stobe sincronizado com o instante de disparo da câmara.

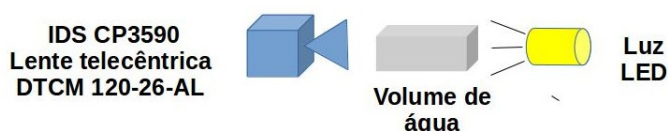


Figura 5.5: Arquitectura do sistema de aquisição de imagens de alta resolução.

A câmara encontra-se equipada com uma lente telecentrica (DTCM 120-26-AL) de modo a garantir que o plankton observado mantém a sua dimensão independente da distância a que se encontra da lente. Esta propriedade irá permitir de futuro que o plankton possa ser detetado por um sistema de automático de reconhecimento de plankton.

5.4 Sistema de aquisição de imagem

Com o objetivo de registar a vida marinha a diferentes profundidades, integrou-se uma câmara de 5MP e um sonar com uma abertura de 70° . O sonar desempenha a função de deteção de vida marinha e do respectivo disparo do sistema de visão, garantido assim que apenas registamos períodos em que a plataforma detetou movimento em frente do sistema de visão.

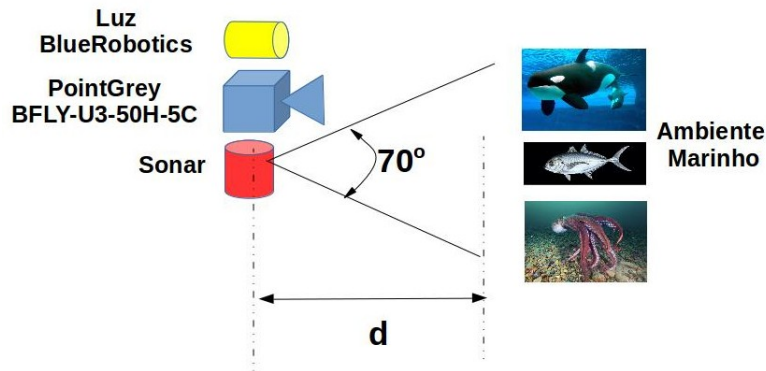


Figura 5.6: Arquitectura do sistema de aquisição de imagens do ambiente marinho.

5.5 Sistema de Variação de Flutuabilidade

Na concepção mecânica, uma vez que o meio de trabalho é o subaquático, há a necessidade de conseguir resistência mecânica e estanquidade dos materiais submetidos ao contacto direto com a água. O cilindro de acrílico no qual foram colocados todos os componentes será selado nos topos por duas tampas de alumínio. No seu interior vão estar os componentes necessários à variação de flutuabilidade como é o caso da microbomba, válvulas solenóides, placa de controlo electrónico.

As tampas, realizadas em alumínio, incorporam dois vedantes de passagem cada, permitindo assim que o veículo fique estanque. As dimensões do cilindro de acrílico são de 0,4 m de comprimento e 0,2 m de largura. Tendo as dimensões definidas o volume do cilindro irá ser de $0,0125 \text{ m}^3$. Se multiplicarmos este volume pela massa volúmica da água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) iremos ter a massa de água correspondente ao volume de água que é deslocado quando o veículo está submerso que será de 12,6 kg. Se este valor de massa for multiplicado pela aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$) ter-se-á a força hidrostática que efectua reacção a este cilindro que será de 123,6 N.

A massa de flutuabilidade a variar da maioria dos *gliders* é cerca de 4 % da massa total do veículo. Neste trabalho, optou-se por variar o dobro da percentagem de massa de flutuabilidade que altera o estado dos *gliders*. Assim sendo, a massa de água deslocada pelo cilindro é multiplicada por 8 %.

$$\text{Massa de flutuabilidade a variar} = 12,8 \times 0,08 = 1,01 \text{ kg} \quad (5.1)$$

Ao dividirmos o valor da massa de fluutuabilidade pela densidade da água obter-se-á o volume de água necessário para alcançar os três estados de fluutuabilidade.

Tabela 5.1: Massa de água a variar

Massa a variar	1,01	kg
Densidade da água	1000	kg/m ³

$$\text{Volume de água necessário} = \frac{\text{Massa a variar}}{\text{Densidade da água}} = \frac{1,01}{1000} = 0,001005 \text{ m}^3 = 1,005 \text{ l} \quad (5.2)$$

Os diferentes componentes que integram este sistema são apresentados nos subcapítulos posteriores.

5.5.1 Tampas de alumínio

As tampas foram realizadas em alumínio. Cada uma das tampas possui dois o-rings com diâmetro interno 177,4 mm por 3,53 mm dimensionados a partir do catalogo da *SimRit*.



Figura 5.7: Tampas de alumínio utilizadas para selar o cilindro de acrílico

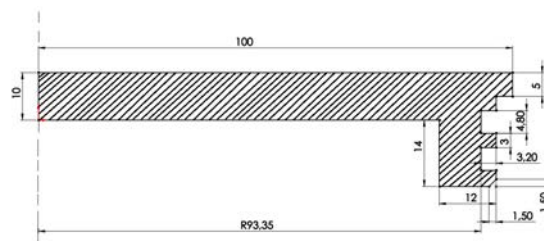


Figura 5.8: Vista em meio corte das tampas de alumínio utilizadas

Um o-ring é uma peça toroidal realizado num elastómero que quando colocado no espaço dimensionado, molda-se e preenche as irregularidades da superfície dos materiais

em contacto, criando uma condição de folga inexistente entre o cilindro e a tampa impedindo que o fluido, neste caso água, passe para o interior.

5.5.2 Cilindro

O cilindro no qual foi incorporado o sistema é em acrílico.

Tabela 5.2: Características do cilindro de acrílico

Cilindro de acrílico					
Características	Dimensões	Unidades	Características	Dimensões	Unidades
Comprimento	0,4	m	Volume interno	0,0116	m ³
Diâmetro interno	0,192	m	Volume externo	0,0125	m ³
Diâmetro externo	0,2	m	Volume do cilindro	0,001	m ³
Área interna	0,029	m ²	ρ	1150	kg/m ³
Área externa	0,031	m ²	Massa do cilindro	1,13	kg
Área do cilindro	0,0025	m ²	σ_{ced}	30	MPa

As características do cilindro utilizado encontram-se na Tabela 5.2.



Figura 5.9: Cilindro de acrílico obtido de ²⁰

A imagem da Figura 5.9 representa o cilindro que foi utilizado para a realização desta dissertação.

²⁰<http://www.acrilicos.com.ar/materiales.htm>

De acordo com [66] foram efectuados cálculos no sentido de determinar a pressão máxima externa que o cilindro pode ser submetido. A nomenclatura utilizada para estes pode ser observada na Tabela 5.3 .

Tabela 5.3: Nomenclatura adoptada para o cálculo da pressão máxima externa

Nomenclatura	
Pi = parede interna	σ_r = tensão radial
Pe = parede externa	σ_θ = tensão circunferencial
b = raio externo	σ_z = tensão longitudinal
a = raio interno	σ_{ced} = tensão de cedência
t = espessura	p = pressão externa

Para o cálculo das tensões nas diferentes direções, (radial, circunferencial e longitudinal) as diferentes equações da Tabela 5.4 foram aplicadas tanto para a “parede” interna, como também para a “parede” externa do cilindro.

Tabela 5.4: Equações para o cálculo de tensões nos diferentes eixos

	P _i	P _e
σ_r	-p	0
σ_θ	$\frac{b^2+a^2}{b^2-a^2} \cdot p$	$\frac{2 \cdot a^2}{b^2-a^2} \cdot p$
σ_z	$\frac{a^2}{b^2-a^2} \cdot p$	$\frac{b^2}{b^2-a^2} \cdot p$

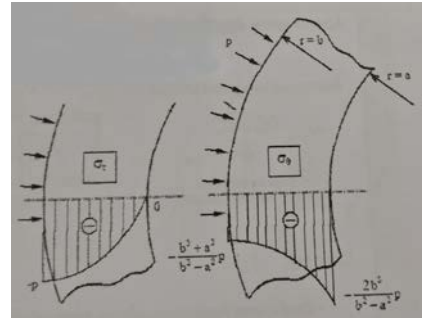


Figura 5.10: Representação das tensões circunferenciais e radiais obtido a partir de [66]

Em cada situação o valor das tensões obtidas foi colocado em função da pressão, uma vez que é o valor que se pretende calcular, tal como é visível na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Valores das tensões em função da pressão

	Pi	Pe
σ_r	0	p
σ_θ	24,51 · p	25,51 · p
σ_z	11,76 · p	12,76 · p

O valor que é inserido no critério de resistência à cedência é o valor mais elevado e assim sendo, é a situação mais condicionante.

Critério de resistência à cedência

$$\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{ced}} \leq \frac{1}{C.S.} \quad (5.3)$$

Conforme se pode verificar na equação 5.3 a $\sigma_{m\acute{a}x}$. representa a tensão máxima admitida pelo sistema na situação mais condicionante, σ_{ced} corresponde à tensão de cedência do material e C.S. representa o coeficiente de segurança.

$$\frac{25,51 \cdot p}{30 \cdot 10^6} \leq \frac{1}{3,5} \iff p \leq 336000 Pa \simeq 3.3bar \quad (5.4)$$

Através da equação 5.4 podemos observar os valores correspondentes a cada termo da equação e concluir que o cilindro está preparado para aguentar pressões máximas de 3.3 bar.

5.5.3 Reservatório

O reservatório deste sistema de variação de fluutuabilidade foi realizado em aço inoxidável.



Figura 5.11: Vávuia solenóide

O reservatório que irá receber a água vai estar preenchido de ar antes de receber o fluido de trabalho. De acordo com a Lei de Boyle-Mariotte o volume de uma massa de gás fixa a constante temperatura varia inversamente com a pressão aplicada.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (5.5)$$

- P_1 = Pressão inicial [Pa]
- V_1 = Volume de ar inicial [m³]

- P_2 = Pressão Secundária [Pa]
- V_2 = Volume de ar inicial [m³]

Quando o sistema entra em funcionamento metade do volume do cilindro irá ser ocupado com água, a outra metade terá o ar que estava a ocupar todo o reservatório.

$$101325 \times 0,001005 = V_2 \times 202650$$

5.5.4 Microbomba

A microbomba utilizada é auto-ferrante, ou seja, possui funcionamento estável mesmo que haja ar no líquido e ao mesmo tempo que tenha um diferencial de pressão capaz de trabalhar à profundidade máxima requerida.

A diferença destas bombas para as bombas centrífugas revela-se quando ar entra na bomba. No caso das bombas centrífugas estas ficam presas e não funcionam até que o ar possa ser removido.

Nas bombas auto-ferrantes o ar entra na bomba e mistura-se com a água nas lâminas do rotor. Água e o ar são dispersados em conjunto por ação centrífuga da lâmina do rotor para um reservatório de água no interior da bomba. Aqui, o ar separa-se da água, pois uma vez que o ar é menos denso que a água tende naturalmente a ficar na parte superior do reservatório enquanto que a água tende a ficar na parte inferior do reservatório.



Figura 5.12: Microbomba TCS *micropump* MG 2000 obtido de [21]

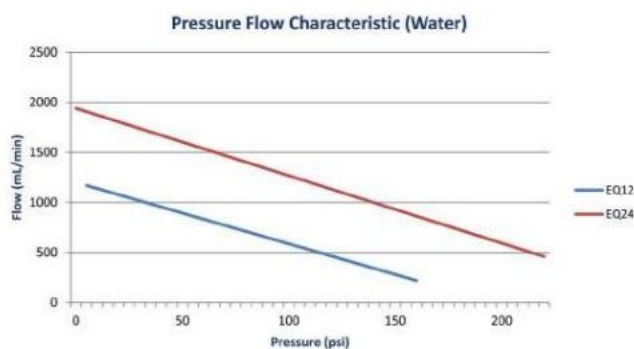
Esta tabela demonstra, tal como é visível na primeira coluna, que a microbomba possui materiais que são compatíveis com a água salgada, possui peso e dimensões reduzidas, facilitando a sua colocação dentro do cilindro, atinge um

²¹<http://www.micropumps.co.uk/DATA/pdf/DS09%20-%20MG2000%20Sheet%20REV%203%20SMALL.pdf>

Tabela 5.6: Características Micro Bomba

Microbomba MG 2000			
Materiais em contacto com água	Dados de desempenho	Unidades	Características
Alumínio série 6000 anodizado	90 x 53 x 50	mm	Dimensões
Aço inoxidável 316	0,34	kg	Massa
Viton	15	bar	Pressão
PEEK	40 - 200	W	Potência
PTFE	-20 to 100	°C	Temperatura
Poliacetal	300 to 1900	ml/min.	Fluxo

diferencial máximo de pressão de aproximadamente 15 bar quando se utiliza em conjunto um controlador electrónico de velocidade com um intervalo de tensão entre os 5 V e os 24 V.

Figura 5.13: Microbomba TCS *micropump* MG 2000 obtido de ²²

Podemos observar de acordo com o gráfico da Figura 5.13 que com o controlador electrónico de velocidade com tensão máxima de 12 V (EQ12), o fluxo de água varia entre 300 ml/min. e 1150 ml/min. Quando se aciona a bomba com um controlador electrónico de velocidade com tensão máxima de 24 V (EQ24) o fluxo de água varia entre 450 ml/min. para 1900 ml/min.. O diferencial de pressão também é diferente quando se utiliza diferentes controladores de velocidade. Para o controlador EQ12 o valor máximo de diferencial de pressão é aproximadamente 10 bar, quando se utiliza o controlador electrónico de velocidade com tensão máxima de 24 V, o valor máximo de diferencial de pressão é de 15 bar.

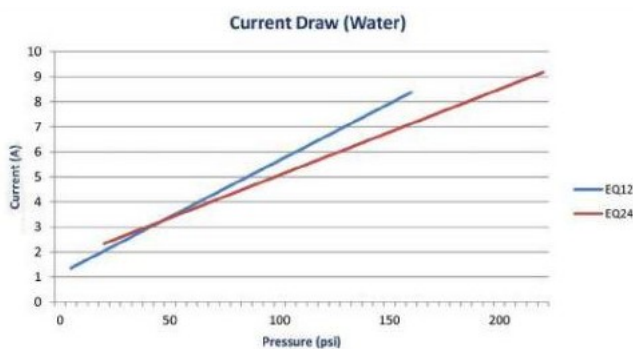


Figura 5.14: Microbomba TCS *micropump* MG 2000 obtido de ²²

O gráfico da Figura 5.14 mostra a relação que existe entre a pressão (psi) e a corrente (A). A corrente é directamente proporcional ao diferencial de pressão. Com o controlador EQ12 e o diferencial de pressão mínimo (1 bar) o consumo de corrente situa-se aproximadamente 1,4 A e quando o diferencial de pressão é máximo (10 bar) o consumo de corrente tem valor próximo dos 8 A. Ao utilizar o controlador de velocidade EQ24 os consumos de corrente são maiores quando comparados com o controlador EQ12 pois os valores de diferencial de pressão são mais elevados. O consumo de corrente deste controlador com o diferencial de pressão mínimo 1,8 bar é de aproximadamente 2,5 A e 9,3 A quando o diferencial é máximo.

5.5.5 Válvulas solenóides

Uma válvula solenóide de controlo consiste basicamente em dois conjuntos principais: o corpo e o atuador. Uma válvula solenóide é uma combinação de duas unidades básicas funcionais: um solenoide composto por um núcleo e uma válvula contendo um orifício, no qual um disco de vedação é posicionado para interromper ou permitir a passagem de fluido. A válvula é aberta ou fechada pelo movimento do núcleo, que é atraído pelo solenoide quando a bobina é ativada. O corpo é a parte da válvula que executa a ação de controlo permitindo passagem do fluido no seu interior, conforme a necessidade do processo. As válvulas indicadas para este processo são de duas posições e duas vias, realizadas num material que seja resistente na presença de água salgada e servo operadas.

²²<http://www.micropumps.co.uk/DATA/pdf/DS09%20-%20MG2000%20Sheet%20REV%203%20SMALL.pdf>

Características principais:

- 2 posições 2 vias;
- aguentar pressão diferencial de 15 bar;
- ser servo operada;
- o fluido de trabalho ser água doce/água salgada.



Figura 5.15: Válvula solenóide obtido de ²³

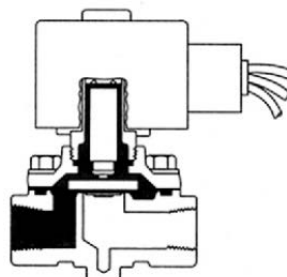


Figura 5.16: Válvula solenóide vista em corte obtido de ²⁴

Tabela 5.7: Comparativo válvulas solenóides *Parker*

Características	Válvulas solenóides	
Imagem		
Marca	Parker	Parker
Modelo	E121K03	201LG2 GVG2
Tensão	24 V DC	24 V DC
Material do corpo	Latão	Aço inoxidável 316 L
Fluido	Água	Água Doce/ Mar
Potência	9 W	5W
Pressão diferencial	8,5	15
Diâmetro do canal	1/4'	1/4'

Para efeitos de teste optou-se pela escolha do modelo E121K03 da Parker uma vez que o preço era mais reduzido, apesar do modelo 201 LG2 GVG2 cumprir também a maioria das especificações.

²³http://www.automa.com.my/index.php?ws=showproducts&products_id=425406&cat=Parker%20Store&subcat=Parker%

²⁴<http://www.fluidcontrol.com.au/products/mark-one-three-way-control-valve/>

5.5.6 Conexões

Para interligar os diversos componentes ao tubo utilizou-se conexões de polipropileno *Super Speedfit* da John Guest que proporcionam uma forma rápida e segura de conectar tubos, reduzindo o tempo de instalação ou desmontagem. O tubo utilizado é realizado em Polipropileno Linear de Baixa Densidade tendo compatibilidade química com água salgada, e permite trabalhar até uma pressão de 15 bar.



Figura 5.17: Conectores adaptado de [26]

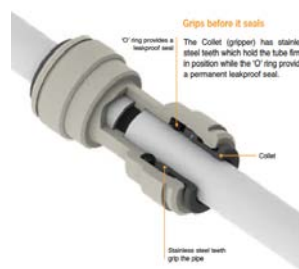


Figura 5.18: Exemplo funcionamento de conector e tubo John Guest adaptado de [26]

Na Figura 5.17 podemos observar conectores utilizados, tais como adaptadores rosca macho, passa muros, curvas e T's. Na Figura 5.18 é possível observar a vista em corte de tubo encaixado num conector *Speedfit*.

5.5.7 Válvulas e sensores

Sendo a pressão diretamente proporcional à profundidade, é importante ter um sensor de pressão incluído no sistema para nos indicar a que distância se encontra da superfície. O sensor de pressão utilizado foi *Bar 30 pressure sensor da Bluerobotics*.

Para desligar o circuito sem a necessidade de abrir o cilindro colocou-se um interruptor subaquático, (*Switch*) numa das tampas de alumínio. O interruptor subaquático escolhido foi o da *Bluerobotics*. A profundidade máxima a que foi testado é de 200 m e permite operar circuitos até 5 A de corrente máxima e 120 V de tensão.

²⁶<http://www.johnguest.com/wp-content/uploads/2015/01/Drinks-Brochure-Z2105-87-0217-WEB.pdf>

A válvula de ventilação, posicionada numa das tampas de alumínio possui duas funcionalidades: permitir que a massa de ar que vai ser ocupado pelas tampas saia e fazer vácuo. Ao fazer vácuo, a partir da válvula, conclui-se que não há fugas no interior do cilindro.

Tabela 5.8: Válvulas e sensores BlueRobotics

		
Válvula de abertura	Switch para ligar e desligar baterias	Sensor de pressão

Componentes BlueRobotics adaptados de ²⁷

A ficha subaquática Macartney Subcon MCBH8M, tal como se pode observar na Figura 5.19 foi instalada numa das tampas de alumínio, pois através desta ficha e um cabo subaquático, o programador poderá especificar as ordens que pretende efectuar numa missão.



Figura 5.19: Ficha Macartney Subconn mcbh8m obtido de [28]

Todos estes componentes agregados e interligados permitem ter um sistema de variação de flutuabilidade que efectua imersões a uma profundidade pré-estabelecida.

A Tabela 5.9 mostra os valores da massa de todos os componentes que integram o sistema.

²⁷<https://www.bluerobotics.com/>

²⁸<https://www.macartney.com/what-we-offer/systems-and-products/connectors/subconn/subconn-micro-circular-series/>

Tabela 5.9: Massa dos diferentes componentes do sistema

Materiais	Massa dos materiais	
Válvulas solenóides	1	kg
Conectores	0,3	
Reservatório	2,5	
Placa de acrílico	0,3	
Microbomba	0,34	
Electrónica	0,25	
Reservatório	2,5	
Tampas	1,375	
Cilindro Acrílico	1,15	

5.5.8 Eletrónica de controlo do sistema de variação de fluutuabilidade

O software apresentado permite actuação das electroválvulas, microbomba e sensor em consonância de forma a executar a missão pretendida. A Figura 5.20 representa o diagrama de blocos com todos os componentes específicos que foram escolhidos para o sistema, mostrando a interação que existe entre a componente electrónica e a componente mecânica.

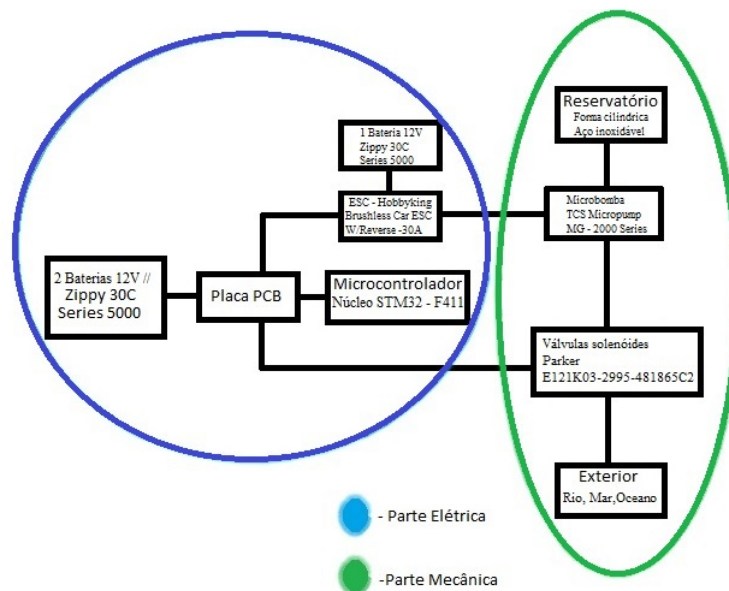


Figura 5.20: Diagrama de blocos do sistema implementado

Neste sistema, para se atuar as válvulas solenóides e a microbomba foi necessário conceber um esquema electrónico.

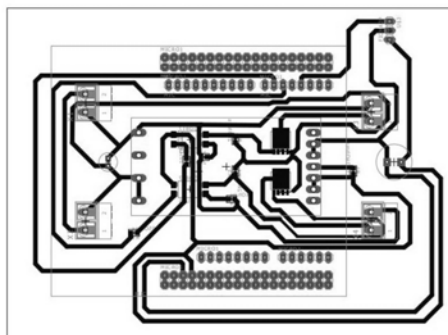


Figura 5.21: Placa de circuito impresso que actua os componentes electrónicos

Este esquema electrónico foi inicialmente concebido num papel, no qual foram representados todos os materiais e ligações necessárias. Acoplado a esta placa PCB estará o microcontrolador núcleo STM32 que faz o controlo, através da programação embendada, e a interligação entre baterias, válvulas solenóides, microbomba, sensor de pressão.

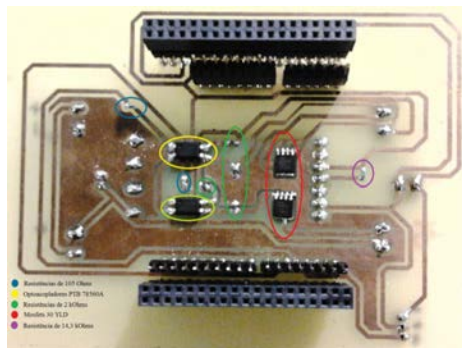


Figura 5.22: Placa circuito impresso e seus componentes específicos

Com estes pressupostos elaborou-se um algoritmo através da programação na plataforma online *mbed*, interligando o *software* com o *hardware*, e com o objectivo de estabilizar o sistema na posição pretendida através da linha lógica apresentada no algoritmo 1.

Tal como se pode observar no algoritmo 1 o sistema recebe e lê os dados do sensor de pressão, converte os dados provenientes do sensor de pressão na posição que o sistema se encontra, faz percepção da posição actual relativa à distância ao *target* pré estabelecido. Após isto o algoritmo de controlo irá atuar

Algorithm 1: Algoritmo de Processamento de Posição

Input : Dados de pressão (provenientes do sensor de pressão)

Output: Posição pretendida *target*

Passo 1. Adquirir a posição atual

Passo 2. Processar a posição

Passo 3. Percepção da posição no momento relativa ao *target*

Passo 4. Atuação no algoritmo de controlo PID

Passo 5. Atuação da bomba em simultâneo com electroválvulas

na microbomba. A microbomba está inter ligada com as válvulas solenóides e consoante o sentido de atuação irá abrir ou fechar as válvulas solenóides.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 6

Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes às experiências realizadas com o intuito de validar o sistema de monitorização biológica com capacidade de variação de fluutuabilidade.

Serão detalhados resultados experimentais realizados no laboratório INESC TEC - CRAS de cada um dos módulos assim como os testes preliminares realizados em Sesimbra.

6.1 Protótipo desenvolvido

O protótipo funcional encontra-se detalhado na Figura 6.1 tendo realizado testes experimentais em modo autónomo e também acoplado ao TURTLE, ver Figura 6.2.



Figura 6.1: Protótipo desenvolvido no âmbito da dissertação

Tal como se pode observar na Figura 6.2 a sonda foi acoplada ao TURTLE verificando-se que pode ser acoplada a um veículo submarino para fazer as suas missões.

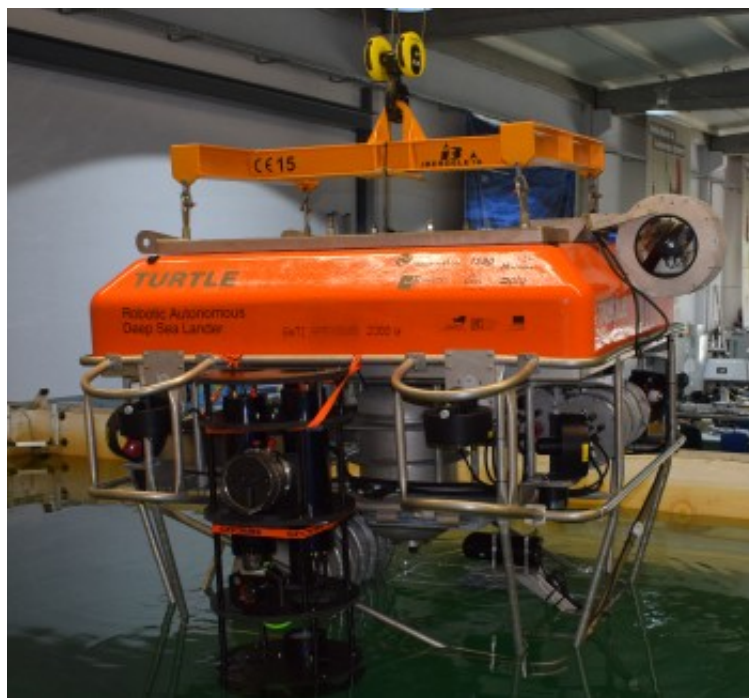


Figura 6.2: Protótipo acoplado ao veículo Turtle

6.1.1 Validação sistema de filtração

Foram efectuados testes com e sem *manifold*. Antes dos testes de capô serem efectuados estabeleceu-se uma lista de experiências preliminares que permitiram aferir a qualidade da solução desenvolvida:

- Filtrar 1 l de água com pressão inicial de 1 Bar sem manifold (teste 1 e 4);
- Filtrar 1 l de água com pressão inicial de 1,4 Bar sem manifold (teste 2 e 5);
- Filtrar 1 l de água com pressão inicial de 2 Bar sem manifold (teste 3 e 6);
- Filtrar 1 l de água com pressão inicial de 1 Bar com manifold (teste 7);
- Filtrar 1 l de água com pressão inicial de 1,4 Bar com manifold (teste 8);
- Filtrar 1 l de água com pressão inicial entre 0,5 e 1 Bar com manifold (teste 9);

Todos os testes detalhados em seguida foram efetuados com a electrónica desenvolvida para esse efeito onde se inclui um sensor de corrente para monitorizar o instante de colmatção do Sterivex, um sensor de pressão e um sensor de caudal para registar a quantidade de água que pretendemos filtrar.



Figura 6.3: Protótipo desenvolvido em testes

• Teste 1:

Teste efectuado com a microbomba directamente para o *sterivex* sem *manifold*

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm

Pressão inicial: 1 bar

Tempo de filtração: 10 min. 29 s .

Volume filtrado: 1,1 l

Fluxo médio: 106,43 ml / min

Tabela 6.1: Teste 1

Teste 1			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1	0,82	122,45
200	1	1,72	110,70
300	1	2,6	113,64
400	1	3,5	111,11
500	1	4,42	108,70
600	1	5,42	100,00
700	1	6,38	104,17
800	1,05	7,38	100,00
900	1,05	8,45	93,46
1000	1,05	9,47	98,04
1100	1,05	10,48	99,01

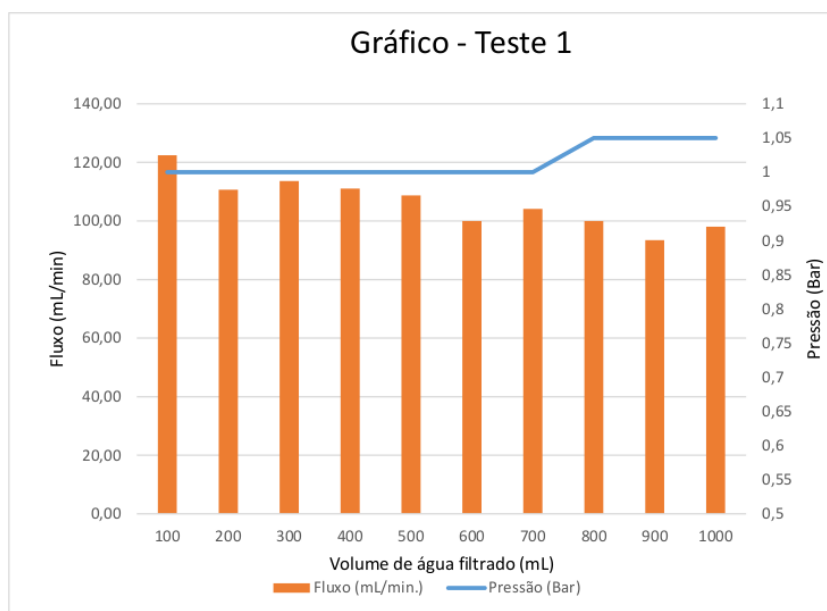


Figura 6.4: Gráfico teste 1

•Teste 2:

Teste efectuado com a microbomba directamente para o *sterivex* sem *manifold*

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm ;

Pressão inicial: 1,4 bar ;

Tempo de filtração: 7 min. 24 s ;

Volume filtrado: 1 L;

Fluxo médio: 133,43 ml / min ;

Intensidade da corrente: 0,5 A.

Tabela 6.2: Teste 2

Teste 2			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1,4	0,70	142,86
200	1,4	1,38	147,06
300	1,4	2,05	149,25
400	1,4	2,73	147,06
500	1,4	3,5	129,87
600	1,4	4,23	136,99
700	1,45	5	129,87
800	1,5	5,78	128,21
900	1,5	6,58	125,00
1000	1,5	7,4	121,95

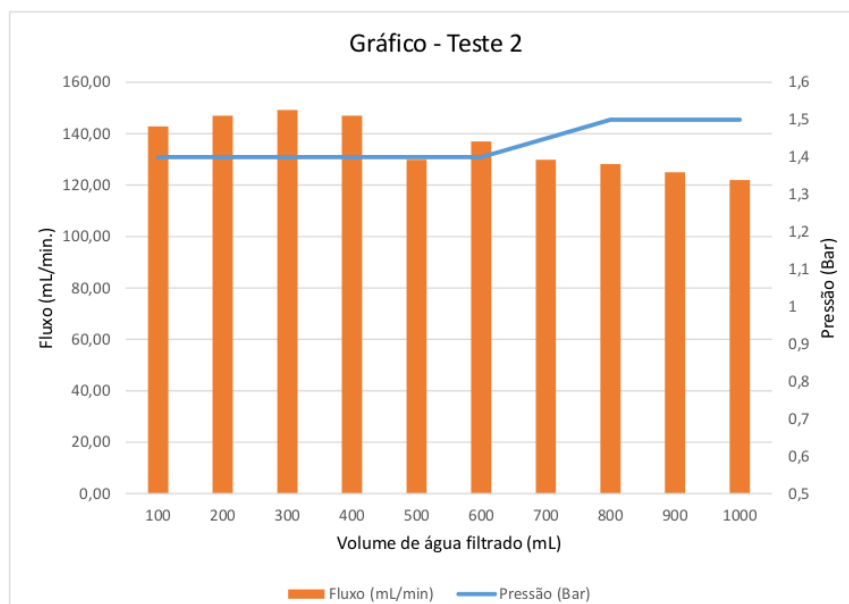


Figura 6.5: Gráfico teste 2

•Teste 3:

Teste efetuado com a microbomba diretamente para o *sterivex* sem *manifold*

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm ;

Pressão inicial: 2 bar ;

Tempo de filtração: 5 min. 13 s ;

Volume filtrado: 1 L ;

Fluxo médio: 190,49 ml / min ;

Intensidade de corrente : 0,8 A .

Tabela 6.3: Teste 3

Teste 3			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	2	0,48	208,33
200	2,1	0,97	204,08
300	2,15	1,43	217,39
400	2,2	1,95	192,31
500	2,2	2,47	192,31
600	2,2	3	188,68
700	2,3	3,53	188,68
800	2,35	4,1	175,44
900	2,4	4,67	175,44
1000	2,4	5,22	181,82

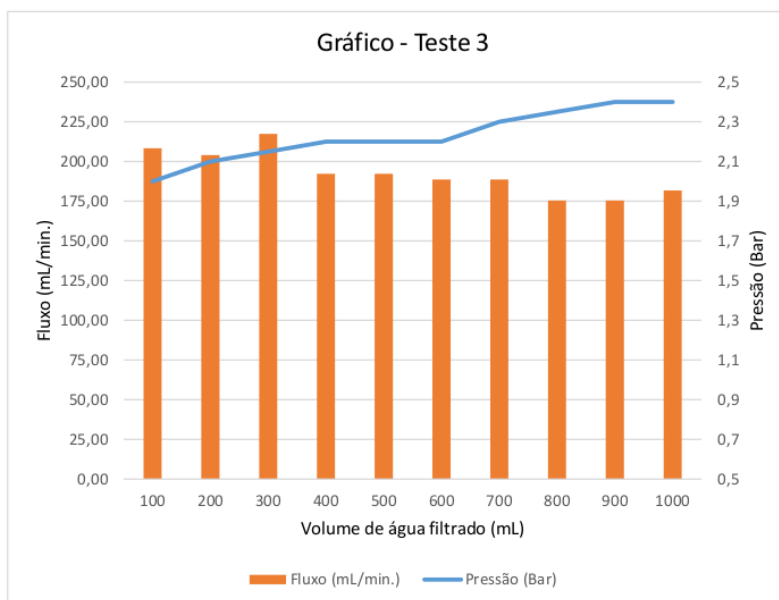


Figura 6.6: Gráfico teste 3

•Teste 4:

Teste efectuado com a microbomba directamente para o *sterivex* sem *manifold*

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm ;

Pressão inicial: 1 bar ;

Tempo de filtração: 8 min. 26 s ;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio: 117,62 ml / min ;

Tabela 6.4: Teste 4

Teste 4			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1	0,83	120,48
200	1	1,68	117,65
300	1	2,45	129,87
400	1	3,28	120,48
500	1	4,1	121,95
600	1	4,97	114,94
700	1,1	5,83	116,28
800	1,1	6,68	117,65
900	1,1	7,57	112,36
1000	1,1	8,43	116,28

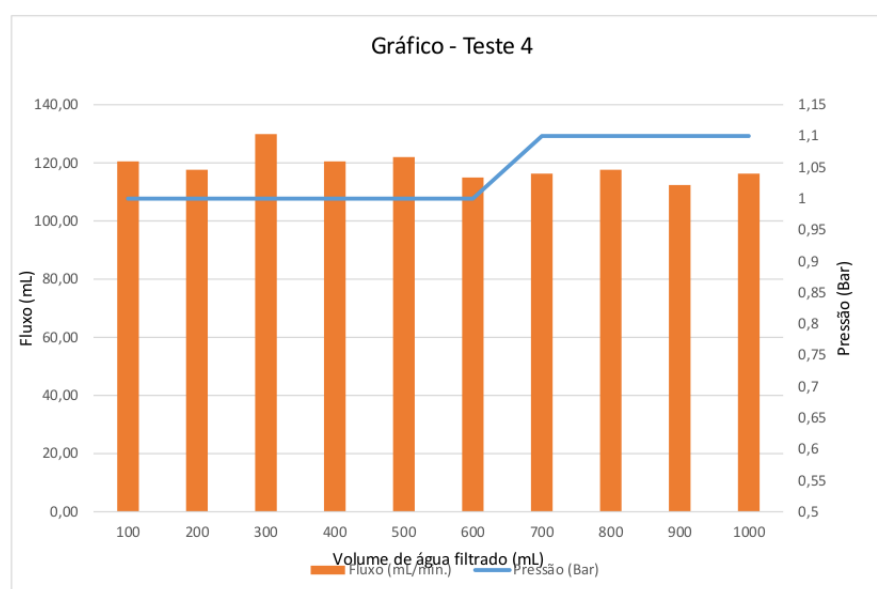


Figura 6.7: Gráfico teste 4

•Teste 5:

Teste efectuado com a microbomba directamente para o *sterivex* sem manifold

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm ;

Pressão inicial: 1,4 bar ;

Tempo de filtração: 6 min. 44 seg. ;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio: 149.25 ml / min ;

Intensidade da corrente: 0,55 A .

Tabela 6.5: Teste 5

Teste 5			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1,4	0,60	166,67
200	1,4	1,27	149,25
300	1,4	1,92	153,85
400	1,4	2,58	151,52
500	1,45	3,25	149,25
600	1,45	3,95	142,86
700	1,5	4,65	142,86
800	1,5	5,32	149,25
900	1,5	6,02	142,86
1000	1,5	6,73	140,85

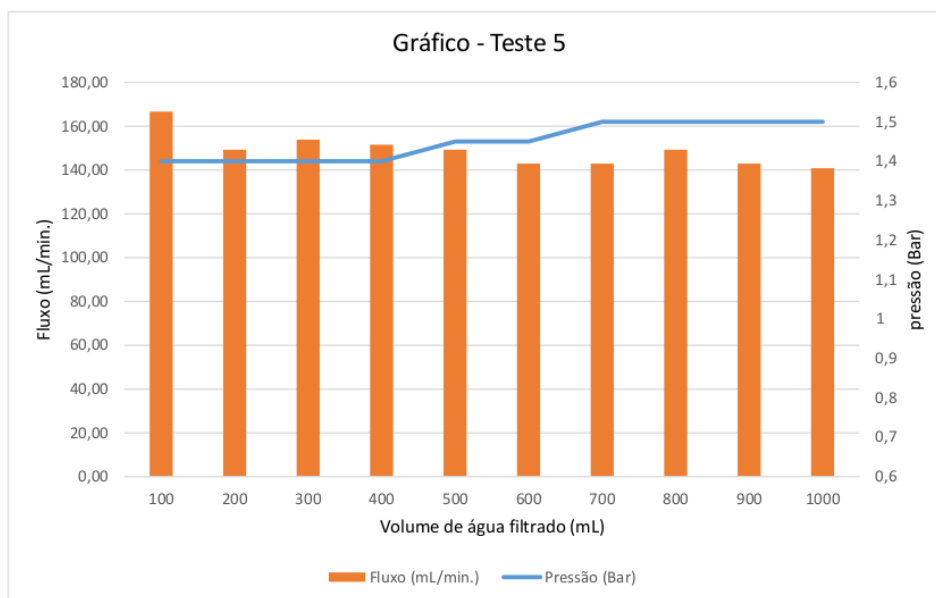


Figura 6.8: Gráfico teste 5

•Teste 6:

Teste efectuado com a microbomba directamente para o *sterivex* sem *manifold*

Diâmetro tubagem utilizada: 4 mm ;

Pressão inicial: 2 bar

Tempo de filtração: 4 min. 54 s ;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio : 202.04 ml / min ;

Intensidade da corrente: 0.8 A .

Tabela 6.6: Teste 6

Teste 6			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	2	0,45	222,22
200	2	0,95	200,00
300	2	1,37	238,10
400	2	1,88	196,08
500	2,05	2,37	204,08
600	2,1	2,88	196,08
700	2,1	3,35	212,77
800	2,15	3,87	192,31
900	2,2	4,42	181,82
1000	2,2	4,9	208,33

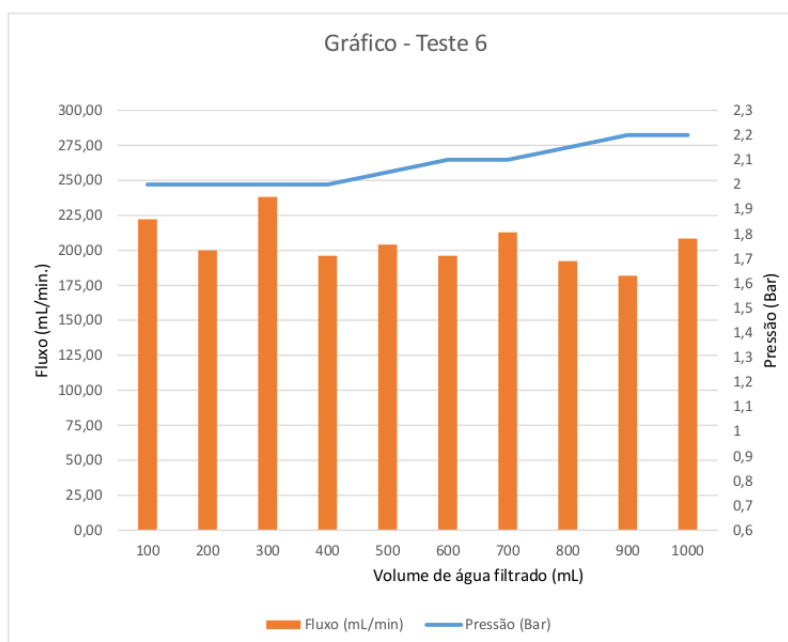


Figura 6.9: Gráfico teste 6

Seguidamente efectuou-se testes com manifold incluído no sistema.

•Teste 7:

Teste efectuado com a microbomba, *manifold* e *sterivex*

Diâmetro tubagem utilizada: 3,18 mm, 4 mm ;

Pressão inicial: 1 bar ;

Tempo de filtração: 10 min. 57 s ;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio: 92,59 mL min ;

Intensidade da corrente: 0,45 A .

Tabela 6.7: Teste 7

Teste 7			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1	1,02	98,04
200	1	2,1	92,59
300	1	3,17	93,46
400	1	4,25	92,59
500	1	5,33	92,59
600	1	6,5	85,47
700	1	7,58	92,59
800	1	8,63	95,24
900	1	9,83	83,33
1000	1	10,95	89,29

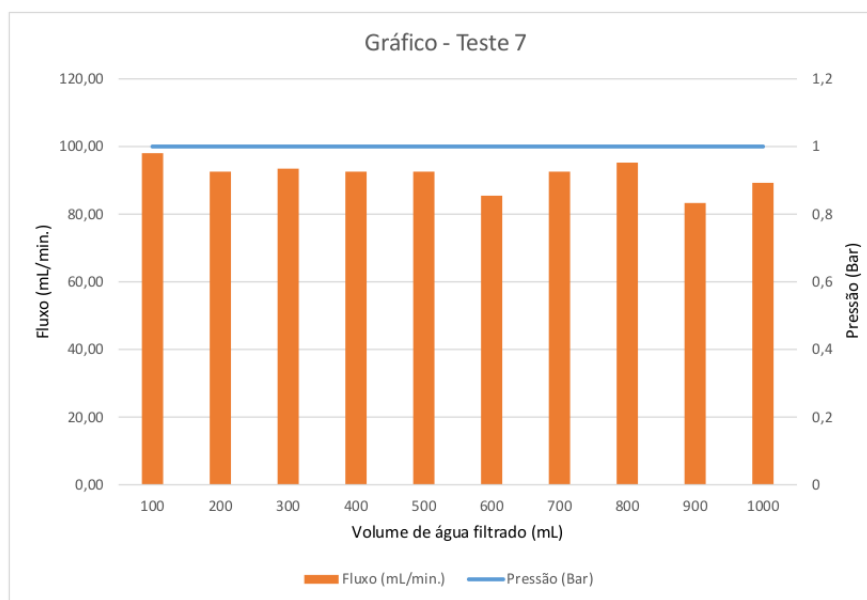


Figura 6.10: Gráfico teste 7

● Teste 8:

Teste efectuado com a microbomba, *manifold* e *sterivex*

Diâmetro tubagem utilizada: 3,18 mm, 4 mm ;

Pressão inicial: 1.4 bar ;

Tempo de filtração: 8 min. 02 s .;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio: 127.39 ml / min;

Intensidade da corrente: 0,8 A.

Tabela 6.8: Teste 8

Teste 8			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	1,4	0,77	129,87
200	1,4	1,53	131,58
300	1,45	2,32	126,58
400	1,5	3,1	128,21
500	1,5	3,88	128,21
600	1,5	4,75	114,94
700	1,55	5,53	128,21
800	1,55	6,38	117,65
900	1,55	7,23	117,65
1000	1,55	8,03	125,00

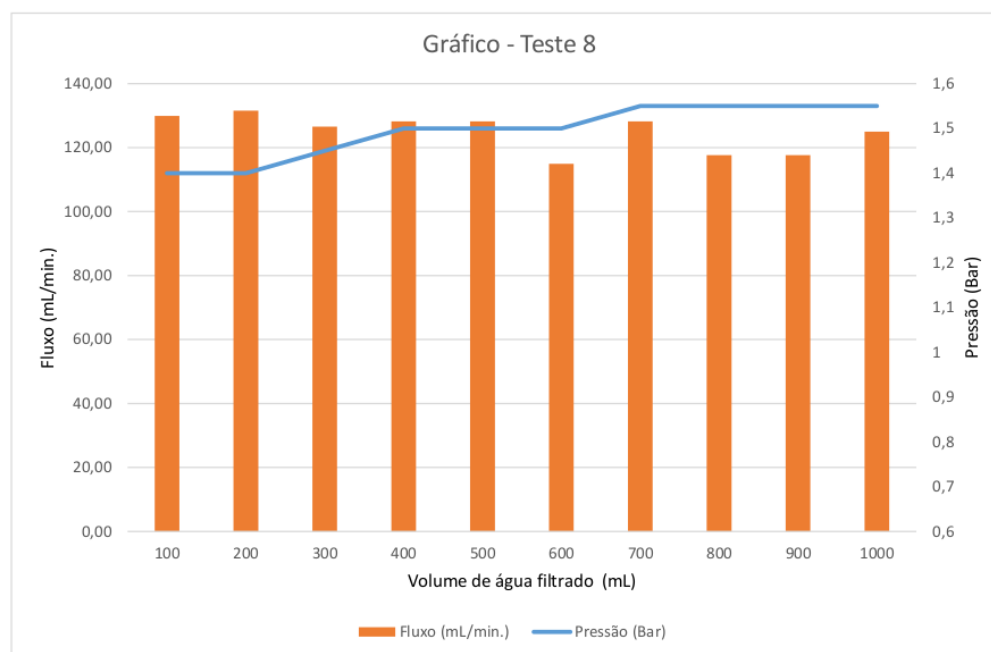


Figura 6.11: Gráfico teste 8

●Teste 9:

Teste efectuado com a microbomba, manifold e sterivex

Diâmetro tubagem utilizada: 3,18 mm, 4 mm ;

Pressão inicial: 0,5 bar ;

Tempo de filtração: 14 min. 03 s ;

Volume filtrado: 1 l ;

Fluxo médio: 70,42 ml / min ;

Intensidade de Corrente: 0,3 A.

Tabela 6.9: Teste 9

Teste 9			
Quantidade filtrada mL	P(Bar)	Tempo (min)	Fluxo (mL/min)
100	0,6	1,43	69,93
200	0,6	2,77	74,63
300	0,7	4,12	74,07
400	0,7	5,48	73,53
500	0,7	6,9	70,42
600	0,7	8,32	70,42
700	0,7	9,73	70,92
800	0,75	11,17	69,44
900	0,75	12,63	68,49
1000	0,8	14,05	70,42

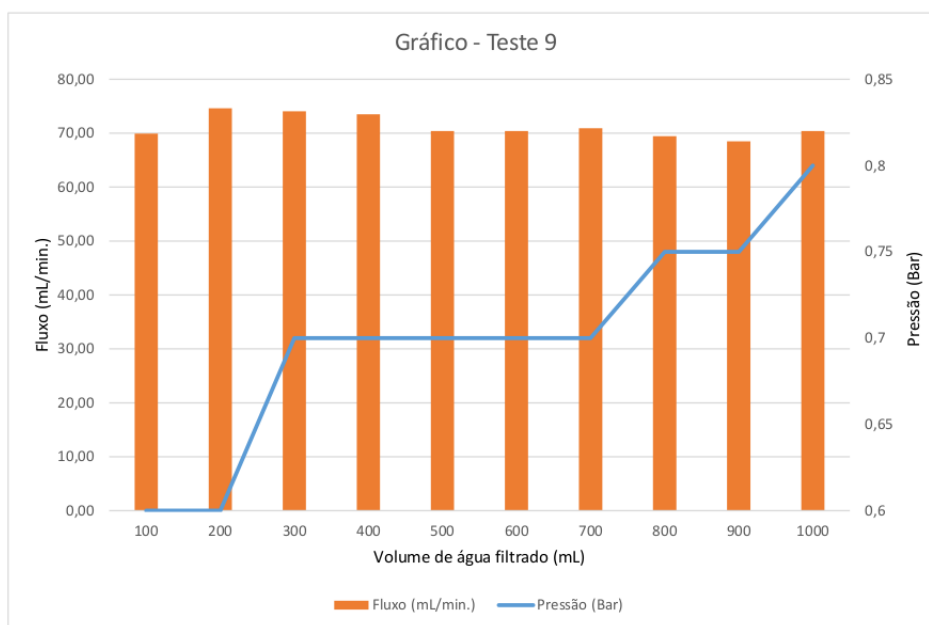


Figura 6.12: Gráfico teste 9

Os primeiros três testes realizados foram replicados com o intuito de saber se os valores registados eram consistentes.

Nos testes 1 e 4, detalhados na Figura 6.4 realizados com pressão inicial de 1 bar, a pressão não varia significativamente ao longo do tempo, como também o fluxo de água. A variação mais expressiva é o tempo de filtração, prolongando-se no teste 1 por mais 2 minutos.

Nos testes 2 e 5, realizados com pressão inicial de 1,4 bar, a variação de pressão é mínima aumentando uma décima no final dos testes. O fluxo tem tendência a diminuir. Denota-se que o fluxo no teste 5 é maior começando nos 166,67 ml/min comparativamente ao teste 2 que começa nos 142,86 ml/min.

Nos testes 3 e 6, realizados à pressão inicial de 2 bar, a pressão aumenta substancialmente cerca de quatro décimas no teste 3 e duas décimas no teste 6. O fluxo é de aproximadamente de 195 ml/min. . Comparativamente aos teste 1 e 5, o tempo de filtração passa para metade.

Os testes 7, 8 e 9 foram realizados com a integração de um *manifold*. Com a inclusão do *manifold* não foram realizados testes acima dos 1,8 bar, uma vez que este equipamento está limitado a operar até aos 2 bar.

O teste 7, realizado à pressão de 1 bar, denota-se uma redução do fluxo, comparativamente com o teste 1 e o teste 4, e assim o teste teve um tempo de filtração maior .

O teste 8, é realizado à pressão inicial de 1,4 bar, como o teste 2 e 5. Com a inclusão do *manifold* tanto a pressão, como o tempo, e o fluxo não são afectados.

O teste 9, é realizado com uma pressão inicial de 0,5 bar. Neste teste a pressão final não ultrapassou 1 bar. Este teste foi o mais longo apresentando o menor fluxo médio.

Com estes testes realizados averiguou-se a quantidade de DNA que era possível extrair após a filtração realizada com as diferentes pressões iniciais estipuladas.

Tabela 6.10: DNA extraído do sistema de filtração

Pressão bar	DNA recolhido ($\mu\text{g}/\text{ml}$)
1	19,8
1.4	20,5
2	16,5

Posteriormente foram efectuados testes no sentido de comparar o tempo de

filtração e o DNA recolhido do sistema utilizado pelos biólogos descrito em [67]. Os resultados podem ser observados na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Comparativo dos sistemas de filtração

Sistemas	Tempo de filtração (minutos)	Pressão (bar)	DNA recolhido (μ g / ml)	Volume (l)
Sistema OSD [67]	128	1	7	3
Sistema de filtração	61	1	7	3
Sistema de filtração	56	1.3	10	3

A Tabela 6.11 mostra que o sistema de filtração desenvolvido permite filtrar 3 l de água aproximadamente em metade do tempo do sistema referido em [67]. Pode-se observar que a quantidade DNA obtida nos três testes é semelhante.

6.1.2 Testes de bancada sistema de captação de imagens *plankton*

Nestes testes de bancada decidiu-se analisar duas lentes de 50 mm (modelos Goyo optical GMHR35028MCN e Goyo optical GMTHR35028MCN). Estas lentes podem ser utilizadas em câmaras com cerca de 3 a 5 MP. Recorrendo às câmaras PointGrey BFLY-U3-23S6C de (2.3 MP) e PointGrey BFLY-U3-50H5C-C (5.0 MP), validou-se as duas lentes com o objectivo de obter o volume de campo observado. A câmara IDS CP 3590 de 18 MP com a lente telecêntrica também serviu de termo comparativo relativamente à qualidade de imagem adquirida.

A tabela 6.12 demonstra os resultados obtidos referentes às características das câmaras e lentes.

	Lente 50 mm	Campo de visão (hxL)	Distância de foco	Profundidade de campo (L)	Ganho	Volume	Shutter
Câmara Pointgrey y 3MP	GMTHR35028M CN DxL (φ29x39)	50*85 mm	500 mm	40 mm	14 dB	170000 mm ³	1.5 ms
	GMHR35028MC N DxL (φ34x55)	25*35 mm	220 mm	10 mm	22.5 dB	8750 mm ³	1.5 ms

	Lente 50 mm	Campo de visão (hxL)	Distância de foco	Profundidade de campo (L)	Ganho	Volume	Shutter
Câmara Pointgrey y 5MP	GMTHR35028M CN DxL (φ29x39)	70*50 mm	500 mm	40 mm	14 dB	140000 mm ³	3.622 ms
	GMHR35028MC N DxL (φ34x55)	25*35 mm	220 mm	10 mm	22.5 dB	5000 mm ³	1.112 ms

	Lente Telecêntrica	Campo de visão (hxL)	Distância de foco	Profundidade de campo (L)	Ganho	Volume	Shutter
IDS CP 3590	DTCM 120-26-AL	19.34 * 16.21 mm	73 mm	2.3 mm	1	1442.8 mm ³	4 ms

Tabela 6.12: Resultados obtidos com as diferentes câmaras e lentes

Constata-se que a utilização da lente GMTHR35028M obteve maior profundidade de campo sendo quatro vezes maior que a lente GMHR35028MC. Quando se compara o volume de profundidade de campo das duas lentes com a câmara de 3MP este chega a ser 19 vezes maior na lente GMTHR35028M. No teste efectuado com a câmara de 5MP a lente GMTHR35028M atinge um volume de profundidade de campo vinte e oito vezes mais que a lente GMHR35028M.

Os resultados podem ser observados nas seguintes imagens:



Figura 6.13: Câmara Pointgrey 3MP Lente GMTHR35028MCN



Figura 6.14: Câmara Pointgrey 3MP Lente GMHR35028MCN

As imagens das câmaras com 3 e 5 megapixéis não permitem observar os microorganismos com a resolução necessária.

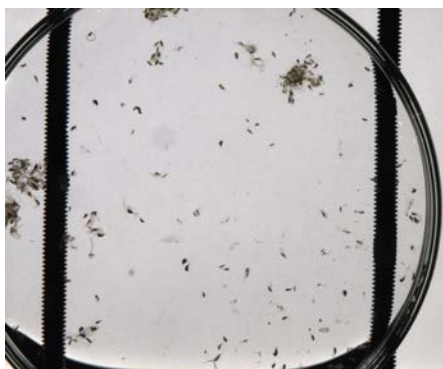


Figura 6.15: Câmara Pointgrey 5MP
Lente GMTHR35028MCN

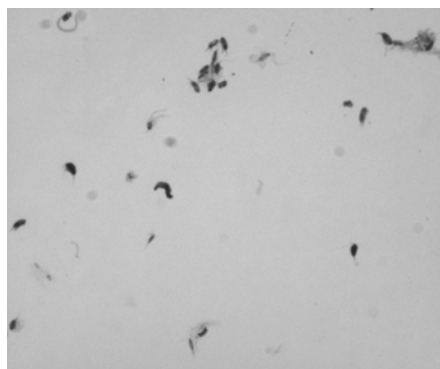


Figura 6.16: Câmara Pointgrey 5MP
Lente GMHR35028MCN

As imagens com a câmara IDS CP 3590 Lente Telecêntrica DTCM 120-26-AL apresentam-se em seguida:



Figura 6.17: *Zooplankton Brightfield*



Figura 6.18: *Zooplankton DarkField*



Figura 6.19: *Zooplankton DarkField*



Figura 6.20: *Zooplankton DarkField*

A combinação de câmara e lente telecentrica definida para o projeto permitiu obter os microorganismos à mesma distância focal o que permite que os biólogos possam ter imagens mais nítidas e um processo de identificação invariante com o fator de escala.

6.2 Resultados sistema de variação de fluutuabilidade

Nesta secção iremos detalhar os resultados obtidos do sistema de variação de fluutuabilidade (VBS) desenvolvido para dar resposta aos objetivos propostos na dissertação. Os testes apresentados em seguida foram efetuados no tanque disponível no laboratório do LSA e em Sesimbra. O sistema em questão possui um cabo umbilical para comunicação com o PC, permitindo assim enviar e receber valores desejados de profundidade e obter as medidas dadas pelo respetivo sensor de pressão acoplado ao sistema.

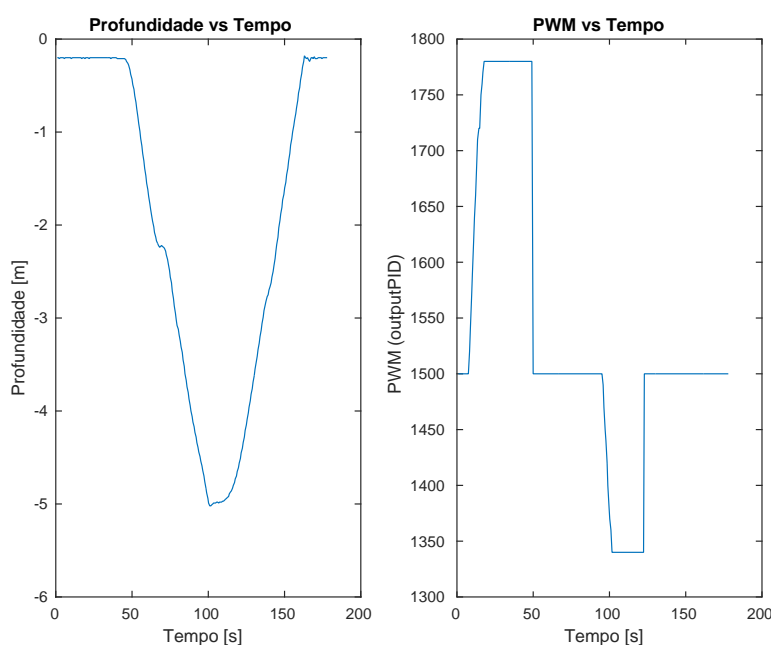


Figura 6.21: Primeiro teste realizado em ambiente aquático

Os gráficos da Figura 6.21 permitem observar um dos primeiros ensaios realizados no tanque do Laboratório de Sistemas Autónomos (LSA). O gráfico posicionado à esquerda revela a posição do VBS em função do tempo e o gráfico posicionado à direita mostra o funcionamento *Pulse with modulation* (PWM) da micro bomba em função do tempo. Este ensaio teve como objetivo a activação do controlador PID para percepção da componente de controlo. Nesta primeira aproximação foi introduzido um valor de componente derivativa de aproximadamente 0,7, tendo as restantes componentes do controlador PID valor 0, e a profundidade desejada final foi de 2,5 metros. Os valores de PWM acima de 1500

permitem a entrada de água no reservatório de fluutuabilidade. Os valores de PWM abaixo de 1500 permitem a saída de água no reservatório de fluutuabilidade. Como observado na Figura 6.21 a partir dos 10 segundos a micro bomba é ativada e o valor de PWM é colocado com um valor de 1775.

É possível observar no gráfico PWM vs Tempo que o valor de PWM permanece com este valor até aos 50 segundos altura em que o VBS obtém fluutuabilidade negativa e começa submergir. Nesta altura a bomba desliga-se e assim permanece até aos 100 segundos alcançando os 5 metros de profundidade, altura em que a microbomba é ativada no sentido contrário, com valor PWM de aproximadamente 1350 durante 20 segundos. O VBS ganha fluutuabilidade positiva e começa a emergir alcançando e ultrapassando a profundidade desejada aos 140 segundos aproximadamente, atingindo a superfície por volta dos 165 segundos.

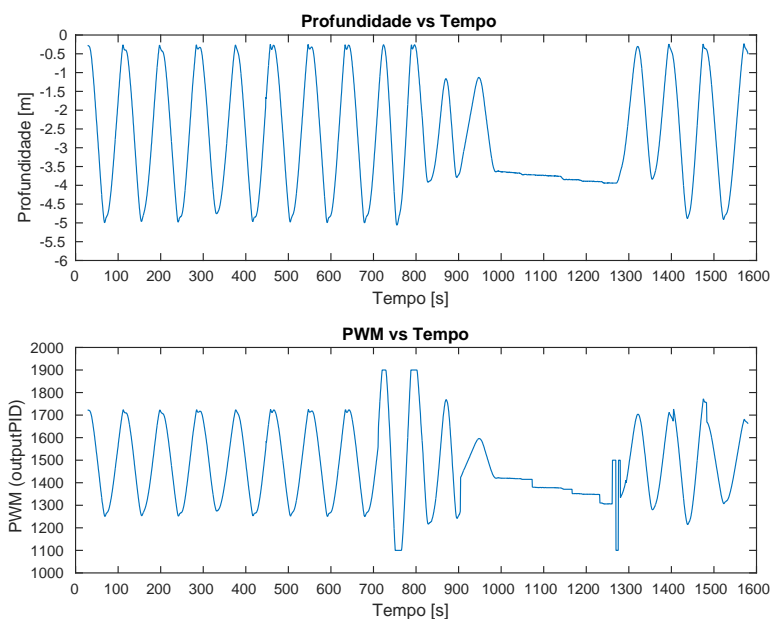


Figura 6.22: Teste realizado em ambiente aquático

Nos gráficos da Figura 6.22 permitem visualizar mais um experimento em que foi efectuado, uma vez mais, a introdução da componente derivativa com um valor de aproximadamente 0,9. Este valor é um pouco maior ao colocado no teste anterior representado na Figura 6.21, sendo a posição desejada final o mesmo valor que o teste evidenciado na Figura 6.21, cerca de 2,5 m. O tempo de teste é 8 vezes superior comparativamente ao teste observado na Figura 6.21 . Na Figura

6.22 pode-se observar várias submersões e imersões que começam na superfície até aos 5 metros. Aquando do valor temporal de 825 segundos decidiu-se incrementar a componente derivativa para 1,6 verificando-se a redução da variação de profundidade, existindo uma maior aproximação ao valor desejado.

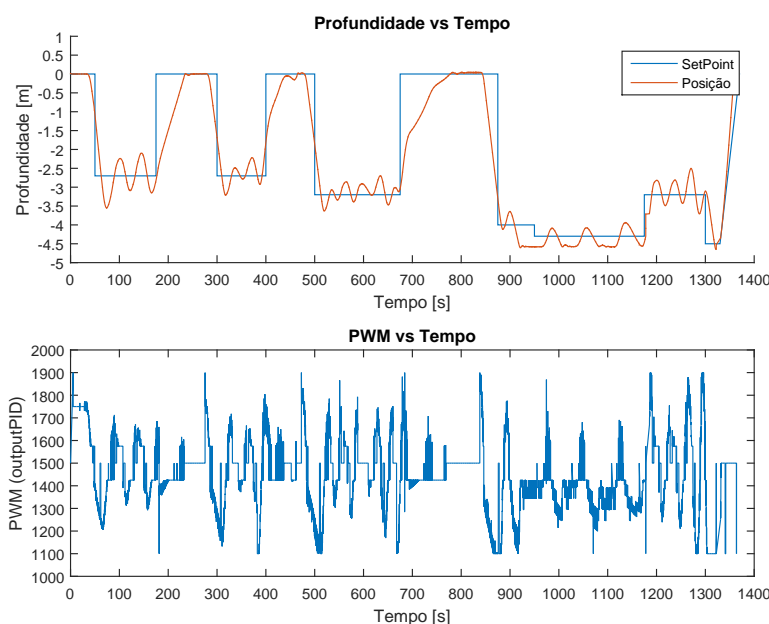


Figura 6.23: Teste realizado em ambiente aquático

O teste que é demonstrado na figura 6.23 tem a introdução da componente derivativa com valor de 2 e a introdução da componente proporcional com valor 0,1. Este teste teve como objectivo colocar o sistema a diferentes profundidades, sendo que numa primeira fase o objectivo era atingir uma determinada profundidade a partir da superfície e numa segunda fase após estar numa determinada profundidade ir para outra profundidade. Nesta abordagem o sistema efectuou 7 submersões, observáveis no gráfico profundidade vs tempo na Figura 6.23 . A primeira e a segunda submersão têm como objectivo alcançar a profundidade de 2,7 m, a terceira os 3 m a partir da superfície. O quarto movimento começa na superfície até aos 4 m. Posteriormente decidiu-se colocar o sistema nos 4,2 m, depois os 3 m e por último uma descida aos 4,5 m de profundidade existindo ascensão à superfície so no final destas variações de profundidade. O sistema nestas condições apresenta *overshoot* e quando entra em estado estacionário apresenta variações superiores de aproximadamente 0,4 m e variações inferiores de 0,3 m.

O gráfico PWM vs Tempo mostra que quanto mais próximo do objectivo menor o esforço da bomba.

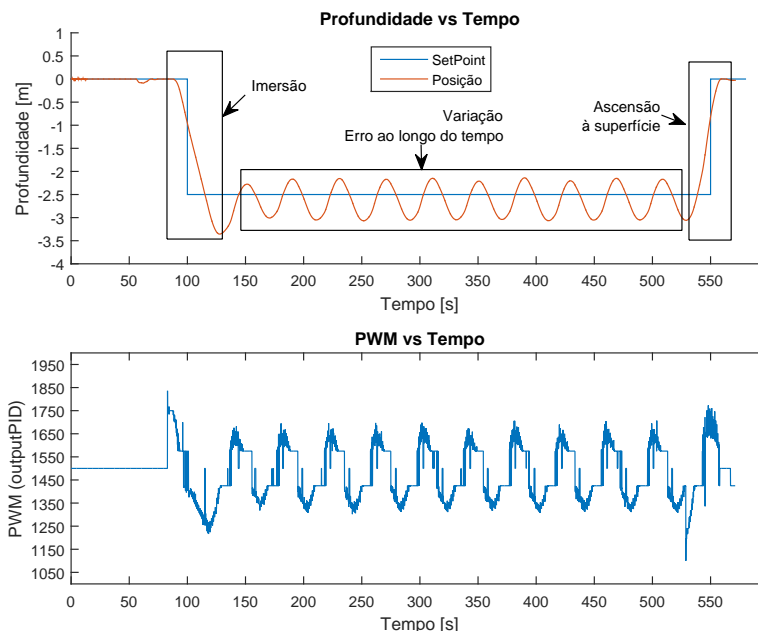


Figura 6.24: Teste realizado em ambiente aquático

O teste que se observa a partir do gráfico da Figura 6.24 tem como objectivo observar o comportamento do sistema apenas para um valor de profundidade. No gráfico PWM vs Tempo observa-se que a bomba começa a trabalhar no sentido de colocar água dentro do cilindro e o seu valor PWM aumenta até aos 1800. Ao ter flutuabilidade negativa o sistema começa a submergir e a reduzir a distância de aproximação à profundidade estabelecida inicialmente. Quando se encontra na posição vertical de 1,5 m a microbomba desliga por um curto período de tempo e inverte o sentido de funcionamento. Aos 85 segundos o sistema atinge o *target* definido e uma vez que o ultrapassa aumenta o valor PWM da microbomba no sentido de retirar água. O sistema atinge os 3,4 metros de profundidade aos 100 segundos apresentando um valor PWM da ordem dos 1250. Neste momento o sistema ganha flutuabilidade positiva, inverte o sentido e efectua uma nova aproximação à profundidade estabelecida. Aos 120 segundos passa a profundidade desejada atingindo os 2,3 m de profundidade invertendo novamente o sentido de movimento. O gráfico Profundidade vs Tempo da Figura 6.24 permite verificar que o sistema entra no movimento oscilatório em que a variação refer-

ente à profundidade defenida é de 0,25 no sentido ascendente e 0,7 no movimento descendente.

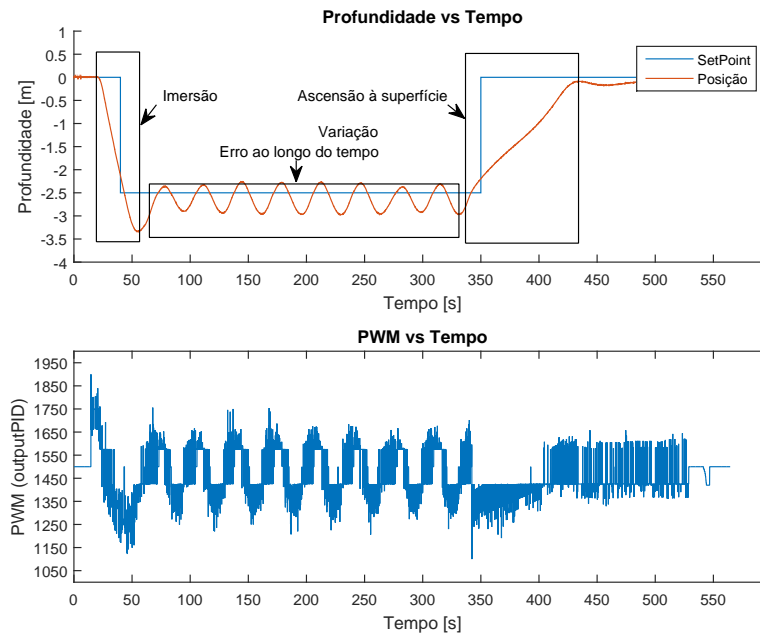


Figura 6.25: Teste realizado em ambiente aquático

O teste que se observa a partir do gráfico da Figura 6.25 tem como objectivo observar o comportamento do sistema apenas para um valor de profundidade. Através do gráfico Profundidade vs Tempo podemos observar que a resposta do sistema é mais rápida comparativamente ao teste apresentado na Figura 6.24 demorando cerca de 45 segundos a atingir a posição requerida apresentando um *overshoot* de 0,9 m. A partir dos 70 segundos entra numa oscilação de estado estacionário variando 0,2 m acima da posição pretendida e 0,5 m abaixo. Comparativamente ao teste observado nos gráficos da Figura 6.24 existe maior velocidade de resposta e menor variação de erro. A variação da micro bomba revela valores de PWM mais altos no início do teste, 1850 e 1100, apresentando variações entre os 1750 e os 1250 de forma cíclica.

O teste que se observa a partir do gráfico da Figura 6.26 tem como objectivo observar o comportamento do sistema apenas para um valor de profundidade. Através do gráfico Profundidade vs Tempo é possível observar que o sistema com estas condições A partir dos 70 segundos entra numa oscilação de estado estacionário variando 0,2 m acima da posição pretendida e 0,5 m abaixo. Compara-

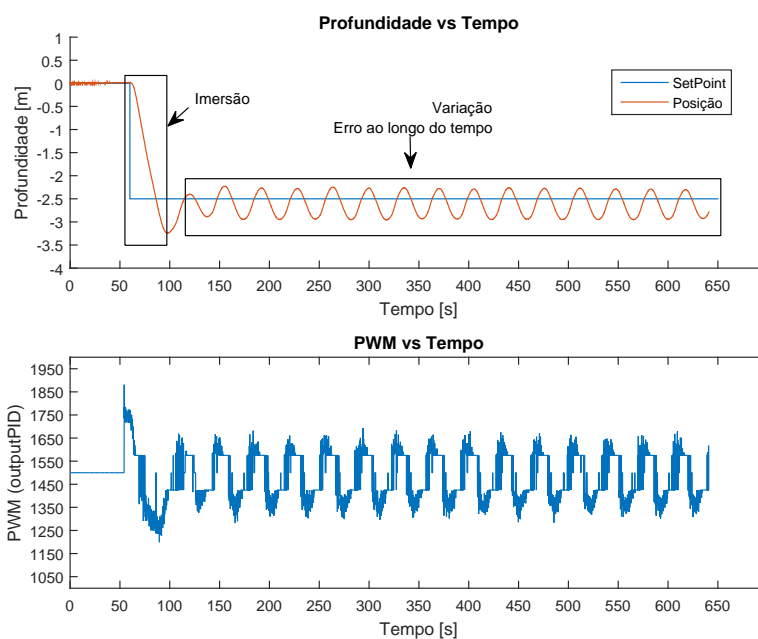


Figura 6.26: Teste realizado em ambiente aquático

tivamente ao teste observado nos gráficos da Figura 6.24 existe maior velocidade de resposta e menor variação de erro. A variação da micro bomba revela valores de PWM mais altos no início do teste, 1900 e 1100, apresentando variações entre os 1750 e os 1250 de forma cíclica.

As Figuras 6.27 e 6.28 mostram o sistema de variação de flutuabilidade a realizar testes no tanque do LSA.



Figura 6.27: Sistema de variação de flutuabilidade a realizar testes no LSA



Figura 6.28: Sistema de variação de flutuabilidade no fundo do tanque do LSA

As seguintes imagens mostram a realização de testes ao largo de Sesimbra.



Figura 6.29: Sistema de variação de flutuabilidade a realizar testes



Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Capítulo 7

Conclusões

Neste trabalho pretendeu-se desenvolver um sistema que pudesse reunir um conjunto de sensores e subsistemas que possa fornecer dados do ambiente marinho.

No decorrer deste trabalho foi efectuado um estudo de sistemas que recolhem e filtram água, sistemas que capturam imagens de *plankton* e sistemas de variação de fluutuabilidade.

Foi apresentada uma proposta para execução de um sistema de filtração, um sistema de aquisição de imagem de *plankton*, um sistema de aquisição de imagem geral, e um sistema de variação de fluutuabilidade.

Nos testes realizados com o sistema de filtração conclui-se que em todos os testes não existe um aumento significativo da pressão. Denota-se que em todos os testes há uma diminuição do fluxo de filtração ao longo do tempo. Conclui-se que é nos testes realizados com à pressão inicial de 1.4 bar que se consegue obter maior quantidade de DNA.

O teste 1 é idêntico ao teste 4, o teste 2 é idêntico ao teste 5, o teste 3 é idêntico ao teste 6. Os testes foram replicados de forma a saber se os valores eram coerentes.

Tabela 7.1: Testes realizados sem *manifold*

	Volume filtrado (Litros)	Pressão inicial (Bar)	Tempo (min.: seg.)
Teste 1	1,1	1	10:29
Teste 4	1	1	08:26

	Volume filtrado (Litros)	Pressão inicial (Bar)	Tempo (min.: seg.)
Teste 2	1	1,4	07:24
Teste 5	1	1,4	06:44

	Volume filtrado (Litros)	Pressão inicial (Bar)	Tempo (min.: seg.)
Teste 3	1	2	05:13
Teste 6	1	1,4	04:54

Nos testes realizados com o *manifold* verifica-se uma diminuição de fluxo e consequentemente um aumento do tempo de filtração para o mesmo volume de água, comparativamente aos testes realizados à mesma pressão mas sem *manifold*.

Nos testes realizados com manifold (testes 7, 8 e 9) denota-se um aumento do tempo de filtração na ordem dos 20 a 30 % relativamente aos testes realizados à mesma pressão, mas sem manifold.

Tabela 7.2: Testes realizados com *manifold*

	Volume filtrado (Litros)	Pressão inicial (Bar)	Tempo (min.: seg.)
Teste 7	1	1	10:57
Teste 8	1	1,4	08:02
Teste 9	1	0,6	14:03

O tempo de realização destes testes é menor que o tempo de filtração realizado pelo sistema que é implementado pelos biólogos e oceanógrafos.

Com o sistema de filtração implementado regista-se recolhas de DNA com quantidades idênticas realizado aproximadamente em metade do tempo comparativamente ao sistema utilizado pelos biólogos descrito em [67].

O sistema de aquisição de imagem de *plankton* permitiu a aquisição de imagens de *plankton* diferentes dimensões. Sugere-se como trabalho futuro a implementação de uma solução que aumente a profundidade de campo, para assim obter uma maior região de visualização de diferentes classes de *plankton*.

A comprovação do sistema de aquisição de imagem geral permitiu a verificação da obtenção de imagem no cenário de aplicação.

Na validação do sistema de variação de flutuabilidade verificou-se que em todos

os testes existe uma variação contínua em estado estacionário. Como trabalho futuro sugere-se a tentativa de remoção desta variação, permitindo alcançar a posição desejada com maior exatidão.

Esta dissertação deu origem a um artigo científico, cujo o título é "MarinEye - A tool for marine monitoring", apresentado na conferência IEEE Oceans 2016 - Shanghai.

Esta dissertação pretende dar origem a um artigo científico "Experimental variable buoyancy engine for AUV's" a submeter na conferência OCEANS18 MT-S/IEEE.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

Bibliografia

- [1] Russell B. Wynn, Veerle A.I. Huvenne, Timothy P. Le Bas, Bramley J. Murton, Douglas P. Connelly, Brian J. Bett, Henry A. Ruhl, Kirsty J. Morris, Jeffrey Peakall, Daniel R. Parsons, Esther J. Sumner, Stephen E. Darby, Robert M. Dorrell, and James E. Hunt. Autonomous underwater vehicles (auvs): Their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience. *Marine Geology*, 352(Supplement C):451 – 468, 2014. 50th Anniversary Special Issue.
- [2] Darren Quick. Autonomous underwater vehicle to study deepwater horizon oil spill, 2016.
- [3] Eduardo Silva, Alfredo Martins, José Miguel Almeida, Hugo Ferreira, António Valente, Maurício Camilo, António Figueiredo, and Cláudia Pinheiro. Turtle—a robotic autonomous deep sea lander. In *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, pages 1–5. IEEE, 2016.
- [4] Alfredo Martins, André Dias, Eduardo Silva, Hugo Ferreira, Ireneu Dias, José Miguel Almeida, Luís Torgo, Marco Gonçalves, Maurício Guedes, Nuno Dias, et al. Marineye—a tool for marine monitoring. In *OCEANS 2016-Shanghai*, pages 1–7. IEEE, 2016.
- [5] Rd smart sensors and developing of monitoring platforms and interoperability test cases.
- [6] James G Bellingham. New oceanographic uses of autonomous underwater vehicles. *Marine Technology Society. Marine Technology Society Journal*, 31(3):34, 1997.

- [7] Edgar An, Manhar R Dhanak, Lynn K Shay, Samuel Smith, and John Van Leer. Coastal oceanography using a small auv. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(2):215–234, 2001.
- [8] JW Nicholson and AJ Healey. The present state of autonomous underwater vehicle (auv) applications and technologies. *Marine Technology Society Journal*, 42(1):44–51, 2008.
- [9] BK Tiwari, R Sharma, and T Asokan. A computer simulation model for design of variable buoyancy system for autonomous underwater vehicles/gliders. In *OCEANS 2016-Shanghai*, pages 1–7. IEEE, 2016.
- [10] Alf L Carroll. *Variable ballast system design for an unmanned submersible*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1983.
- [11] Harold Franklin Jensen. *Variable buoyancy system metric*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, 2009.
- [12] Bertrand Chapron, Rene Garello, and David E Weissman. Ocean remote sensing: Challenges for the future. In *OCEANS 2008*, pages 1–7. IEEE, 2008.
- [13] G.C. †, D. Hopley, P. Davies, T. Done, E. Gischler, I.G. Macintyre, R. Wood, and C. Woodroffe. *Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Process*. Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Springer Netherlands, 2010.
- [14] Mark L Wells, Philippe Potin, James S Craigie, John A Raven, Sabeeha S Merchant, Katherine E Helliwell, Alison G Smith, Mary Ellen Camire, and Susan H Brawley. Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2):949–982, 2017.
- [15] Carl Edmonds, Christopher Lowry, and John Pennefather. History of diving. 1975.
- [16] Chris Acott. A brief history of diving and decompression illness. *SPUMS JOURNAL*, 29:98–109, 1999.

- [17] Kenneth D Keele. *Leonardo da Vinci's Elements of the Science of Man*. Academic Press, 2014.
- [18] CJ Acott. The diving "law-ers": A brief resume of their lives. 1999.
- [19] Harold Young. *Submarines, inventors and inventions*. 1926.
- [20] T.U.S.B.N.P.S.C. Division. *The Fleet Type Submarine*. Submarine training manuals. 1946.
- [21] T Askew. *Manned submersibles, shallow water*. 2001.
- [22] Michael Wynford Dash. *British submarine policy 1853-1918*. PhD thesis, University of London, 1990.
- [23] C. Bowman and U.S. Navy. *The Submarine NAVPERS 16160-B GUPPY Edition*. Periscope Film, LLC, 2008.
- [24] Simon Lake. *SUBMARINE: The Autobiography of Simon Lake*. D.Appleton-Century Company, 1938.
- [25] Salimzhan A Gafurov and Evgeniy V Klochkov. Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. *Procedia Engineering*, 106:141–148, 2015.
- [26] *Rov's - a brief history*, 2016.
- [27] Lourdes M Cruz and Van der Meer. Robots in oil spill technology.
- [28] William C Phoel. A comparison of the lost hydrogen bomb (1966) and twa flight 800 (1996) search and recovery operations and technologies. In *Ocean Pulse*, pages 91–99. Springer, 1998.
- [29] D Richard Blidberg. The development of autonomous underwater vehicles (auv); a brief summary. In *IEEE ICRA*, volume 4, 2001.
- [30] L. Wernli Sr Robert Christ, Robert D. *The ROV Manual*. ElsevierLtd, 2007.

- [31] David Bingham, Tony Drake, Andrew Hill, and Roger Lott. The application of autonomous underwater vehicle (auv) technology in the oil industry—vision and experiences. In *Fig XXII International Congress*, pages 19–26, 2002.
- [32] J.W. Nicholson and A.J. Healey. The present state of autonomous underwater vehicle (auv) applications and technologies. 42:44–51, 03 2008.
- [33] Robert L Wernli. Auvs-the maturity of the technology. In *OCEANS'99 MTS/IEEE. Riding the Crest into the 21st Century*, volume 1, pages 189–195. IEEE, 1999.
- [34] Nuno A Cruz, Aníbal C Matos, Rui M Almeida, Bruno M Ferreira, and Nuno Abreu. Trimares-a hybrid auv/rov for dam inspection. In *OCEANS 2011*, pages 1–7. IEEE, 2011.
- [35] Robert L Wernli and Roger Chapman. *ROV'86: Remotely Operated Vehicles: Technology Requirements—Present and Future Proceedings of the ROV'86 Conference Organized by the Marine Technology Society, the Society for Underwater Technology and the Association of Offshore Diving Contractors and Held in Aberdeen, UK, 24—26 June 1986*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [36] Clayton Kunz, Chris Murphy, Richard Camilli, Hanumant Singh, John Bailey, Ryan Eustice, Michael Jakuba, Ko-ichi Nakamura, Chris Roman, Taichi Sato, et al. Deep sea underwater robotic exploration in the ice-covered arctic ocean with auvs. In *Intelligent Robots and Systems, 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on*, pages 3654–3660. IEEE, 2008.
- [37] Eleanor Frajka-Williams, Charles C Eriksen, Peter B Rhines, and Ramsey R Harcourt. Determining vertical water velocities from seaglider. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28(12):1641–1656, 2011.
- [38] Joshua Grady Graver. *Underwater gliders: Dynamics, control and design*. PhD thesis, Princeton University USA, 2005.

- [39] Daniel L Rudnick, Russ E Davis, Charles C Eriksen, David M Fratantoni, and Mary Jane Perry. Underwater gliders for ocean research. *Marine Technology Society Journal*, 38(2):73–84, 2004.
- [40] Charles C Eriksen, T James Osse, Russell D Light, Timothy Wen, Thomas W Lehman, Peter L Sabin, John W Ballard, and Andrew M Chiodi. Seaglider: A long-range autonomous underwater vehicle for oceanographic research. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26(4):424–436, 2001.
- [41] Jeff Sherman, Russ E Davis, WB Owens, and J Valdes. The autonomous underwater glider "spray". *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26(4):437–446, 2001.
- [42] Glider spray, 2016.
- [43] Douglas C Webb, Paul J Simonetti, and Clayton P Jones. Slocum: An underwater glider propelled by environmental energy. *IEEE Journal of oceanic engineering*, 26(4):447–452, 2001.
- [44] Russ E Davis, Charles C Eriksen, and Clayton P Jones. Autonomous buoyancy-driven underwater gliders, 2002.
- [45] Pedro Manuel Hortas Nascimento. Otimização do ciclo termodinâmico e modelação dinâmica de um gerador hidráulico acionado termicamente, 2014.
- [46] Slocum glider, 2016.
- [47] and others. Buoyancy control, January 17 1961. US Patent 2,968,053.
- [48] Madis Listak and Maarja Kruusmaa. Buoyancy control of a semiautonomous underwater vehicle for environmental monitoring in baltic sea. *Department of Computer Engineering, Tallin University of Technology (Ehitajate) & Institute of technology, Tartu University (Vanemuise)*, 2003.
- [49] M Worall, AJ Jamieson, A Holford, RD Neilson, M Player, and PM Bagley. A variable buoyancy system for deep ocean vehicles. In *Oceans 2007-Europe*, pages 1–6. IEEE, 2007.

- [50] Jian-an Xu, Ming-jun Zhang, et al. A variable buoyancy system for long cruising range auv. In *Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), 2010 International Conference on*, volume 2, pages 585–588. IEEE, 2010.
- [51] Stephen L Wood, Arne Hendricks, and Michael Corbet. Automated buoyancy control system for a remotely operated underwater crawler. In *OCEANS 2015-Genova*, pages 1–10. IEEE, 2015.
- [52] I Masmitjà, J González, and S Gomáriz. Buoyancy model for guanay ii auv. In *OCEANS 2014-TAIPEI*, pages 1–7. IEEE, 2014.
- [53] M Jakuba, D Gomez-Ibanez, MA Saito, G Dick, and JA Breier Jr. Clio: An autonomous vertical sampling vehicle for global ocean biogeochemical mapping. In *AGU Fall Meeting Abstracts*, volume 1, page 1177, 2014.
- [54] Marc Macleod and Matthew Bryant. Dynamic modeling, analysis, and testing of a variable buoyancy system for unmanned multidomain vehicles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2016.
- [55] Paulo Mónica, Alfredo Martins, Augustin Olivier, Aníbal Matos, José Miguel Almeida, Nuno Cruz, José Carlos Alves, Henrique Salgado, Luís Pessoa, Pedro Jorge, et al. Tec4sea—a modular platform for research, test and validation of technologies supporting a sustainable blue economy. In *Oceans-St. John's, 2014*, pages 1–6. IEEE, 2014.
- [56] T. Wulff, S. Lehmenhecker, E. Bauerfeind, U. Hoge, K. Shurn, and M. Klages. Biogeochemical research with an autonomous underwater vehicle: Payload structure and arctic operations. In *2013 MTS/IEEE OCEANS - Bergen*, pages 1–10, June 2013.
- [57] Eric J Berkenpas, Bradley S Henning, Charles M Shepard, Alan J Turchik, Carlos J Robinson, Elan J Portner, Diana H Li, Patrick C Daniel, and William F Gilly. A buoyancy-controlled lagrangian camera platform for in situ imaging of marine organisms in midwater scattering layers. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2017.

- [58] Larry E Bird, Alana Sherman, and John Ryan. Development of an active, large volume, discrete seawater sampler for autonomous underwater vehicles. In *OCEANS 2007*, pages 1–5. IEEE, 2007.
- [59] MC Benfield, CJ Schwehm, and SF Keenan. Zoovis: a high resolution digital camera system for quantifying zooplankton abundance and environmental data. *American Society of Limnology and Oceanography*, pages 12–17, 2001.
- [60] Cabell S Davis, Fredrik T Thwaites, Scott M Gallager, and Qiao Hu. A three-axis fast-tow digital video plankton recorder for rapid surveys of plankton taxa and hydrography. *Limnology and Oceanography: Methods*, 3(2):59–74, 2005.
- [61] Thor I Fossen. *Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control*. John Wiley & Sons, 2011.
- [62] Bruno Lopes Matias. Sistema de localização subaquático para veículos autónomos, 2016.
- [63] Clifford A. Pickover. *Archimedes to Hawking*. Oxford University Press, 2008.
- [64] Guilherme Marques Amaral Silva. Desenvolvimento e controlo de um veículo autónomo aéreo quadrotor, 2009.
- [65] Marc Lamas Fernandes. Modelação e controlo de motores dc brushless, 2013.
- [66] Vitor H Vieira. Orgãos de máquinas. University Lecture.
- [67] Petra ten Hoopen, Guy Cochrane, Dick Schaap, Renzo Kottmann, Arianna Broggiato, Caroline von Kries, Tom Dedeurwaerdere, Chris Bowler, Simon Claus, Dawn Field, et al. Ocean sampling day handbook.