



PROJETO DE GRADUAÇÃO

Projeto “Poseidon”: Veículo subaquático operado remotamente

Por,
**Carlos Henrique Madeira
Nathan Costa Alves Souza**

Brasília, 07 de Outubro de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

Projeto “Poseidon”: Veículo subaquático operado remotamente

POR,

**Carlos Henrique Madeira 09/91562
Nathan Costa Alves Souza 06/92514**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof^a. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM
(Orientadora)

Prof^a. Carla Maria Chagas e Cavalcante Koike, UnB/
CIC

Prof. Mário Benjamin Batpista Siqueira, UnB/ ENM

Prof. José Maurício Santos Torres da Motta, UnB/
ENM

Brasília, 07 de Outubro de 2012

Dedicatória(s)

Dedico meu trabalho ao meu pai, a minha mãe e a minha irmã, sempre presentes na minha vida, onde perante a uma situação aparentemente impossível e com condições assustadoras, olham para mim e dizem “Se vira amigo!”. Tão logo aprendi que eles já sabiam do meu futuro, e que nele eu voltaria sorridente e contando as aventuras que tive ao encarar inúmeros desafios. Foi assim que eles me deram o meu maior presente: Confiança.

Nathan Costa Alves Souza

Agradeço a todos aquelas pessoas incluindo familiares, amigos e professores, que se reconhecem imprescindíveis no meu caminho, fazendo da chegada até este ponto de minha trajetória de modo prazeroso e amigável.

Carlos Henrique Madeira

Agradecimentos

Agradeço a tudo e todos que me fizeram o indivíduo que sou hoje.

Desde minha família, que me ensinaram seus princípios morais e me guiaram pelas ruas tortas da vida.

À Carla e Dianne, minhas orientadoras, que me ajudaram a moldar minha carreira profissional e me deram oportunidades de demonstrar minha competência em projetos e congressos. Sei que foi um sacrifício ter trabalhado comigo e espero não tê-las estressado muito.

Aos amigos da equipe Plano Piloto de Aerodesign, que me proporcionaram várias risadas e chance de defender a nossa querida universidade em competições ferozes e de ter trazido ,no final, glória à nossa capital. Eles me ensinaram a não temer as outras instituições, pois no campo de batalha o outro lado é formado por jovens iguais a nós. “Só bora!” foi o nosso lema, e foi assim que provamos o nosso valor.

Aos amigos e colegas do Grupo Ereko, que me deram a chance de praticar engenharia e me apoiaram durante minhas ausências.

À minha querida UnB, que durante os longos 5 anos, me deu cansaço, trabalho, preocupação, preguiça, alegria, diversão e o mais importante: Conhecimento.

E finalmente aos leitores, que provavelmente estão procurando material de apoio nesse relatório, digo: “...cause it was all in the name of Liberty...” < Jailbreak – ACDC >. Eis o segredo de como formar.

Nathan Costa Alves Souza

De acordo por,

Carlos Henrique Madeira

RESUMO

O presente documento tem como diretriz fornecer bases a respeito de ROV's para posterior construção de projeto próprio. Para tanto o texto apresenta uma revisão geral dos ROV's que passe pelos seus tipos até seus elementos que o constituem. Contém também projeto seguido de construção do primeiro protótipo (Watchbot), e projeto do segundo (Poseidon).

ABSTRACT

This document have the purpose to provide a background about ROV`s to construct one after. For this the text presents a ROV overview, passing by its elements trough types. The text contains also the project and construction procedure of the first prototype (Watchbot), and of the second one (Poseidon).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. ESTUDO DE APLICAÇÃO	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
1.5. METODOLOGIA	4
2. “REMOTE OPERATED VEHICLES”(ROV’s)	5
2.1. INTRODUÇÃO AOS ROV’S	5
2.2. ELEMENTOS CONSTITUINTES	7
2.3. MODELOS	9
2.3.1. SEA LION 2	9
2.3.2. AC ROV 100	10
2.3.3. OCEAN MODULE V8 SII	10
2.3.4. EYEBALL ROV	11
2.3.5. JASON ROV	12
2.4. ESTÁTICA E DINÂMICA GERAL	12
2.5. APLICAÇÕES	14
3. PRIMEIRO PROTÓTIPO: WATCHBOT	16
3.1. PROCEDIMENTO DE PROJETO	16
3.2. ANÁLISE DINÂMICA PARA POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS	19
4. PROJETO POSEIDON	24
4.1. INTRODUÇÃO	24
4.2. PROJETO DINÂMICO	24
4.2.1. CONFIGURAÇÃO	24
4.2.2. PROPULSÃO	27
4.2.2.1. MOTOR	27
4.2.2.2. HÉLICE	29
4.2.2.3. MÓDULO PROPULSOR DA PRIMEIRA VERSÃO (V.1)	31
4.2.2.4. MÓDULO PROPULSOR DA SEGUNDA VERSÃO (V.2)	35
4.2.2.5. MÓDULO PROPULSOR DA VERSÃO 3 (V.3)	38
4.2.2.6. RESUMO DAS VERSÕES DOS MÓDULOS PROPULSORES	40
4.2.2.7. CONSUMO E EMPUXO DO MÓDULO PROPULSOR V.3	40
4.3. SISTEMA DE VISÃO	42
4.3.1. CÂMERA	42
4.4. ESTRUTURA	45
4.4.1. GEOMETRIAS	45
4.4.2. MATERIAL	48
4.4.3. COMPARTIMENTO ELETRÔNICO	49
4.4.4. TESTES DO COMPARTIMENTO DE PRESSÃO	51
4.4.5. CÁPSULA DA CÂMERA E BATERIA	54
4.4.6. TAMPAS DE PROTEÇÃO	57
4.5. ESTÁTICA DO ROV	60
4.6. CONTROLE	63
4.6.1. DISPOSITIVO DE INTERFACE HUMANA – HID	63
4.6.2. CSA POSEIDON CONTROL	65
4.6.3. CABO DE TRANSMISSÃO - TEATHER	66
4.6.4. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO	68
5. CONCLUSÕES	71
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
5.2. TRABALHOS FUTUROS	72
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodologia	4
Figura 2. ROV auxiliando mergulhador	5
Figura 3. ROV Sea Lion 2, um exemplo de ROV com estrutura cilíndrica.	9
Figura 4. AC ROV 100, um exemplo de ROV com estrutura cúbica.	10
Figura 5. Ocean Module V8 Sii ROV, um exemplo de ROV com estrutura caixa.	11
Figura 6. Eyeball ROV, um exemplo de ROV com estrutura esférica.	11
Figura 7. ROV Jason, um exemplo de ROV classe Worker.	12
Figura 8. Aproximação ao Solo.....	13
Figura 9. Graus de Liberdade	14
Figura 10. WatchBot	16
Figura 11. Estrutura WatchBot.....	17
Figura 12. Motor	18
Figura 13. Vedações	19
Figura 14. Ilustração do ensaio de empuxo do motor	19
Figura 15. Análise Dinâmica.....	21
Figura 16. Peso em porcas.....	23
Figura 17. Ilustração do projeto conceitual do ROV Poseidon	24
Figura 18. Graus de liberdade do ROV	25
Figura 19. Posicionamento dos motores em relação ao CG	25
Figura 20. Configuração Convencional.....	26
Figura 21. Configuração 360°	26
Figura 22. (a) Hélice APC 8 x 3,8 , (b) Esquemático do Propulsor em configuração <i>fan</i> , (c) Ilustração do corte e ajuste da hélice no interior do duto, (d) Uniformização do perfil de velocidade dentro de um <i>fan</i>	30
Figura 23. Volume efetivo de propulsão no módulo propulsor da primeira e segunda versão do projeto (v.1 e v.2)	31
Figura 24. Componentes constituintes do módulo propulsor v.1	31
Figura 25. Esquemático de montagem do retentor e códigos dos variados tipos	33
Figura 26. (a) Bucha centralizador, (b) foto do <i>fan</i> com as hastes de suporte do módulo propulsor e (c) módulo propulsor v.1 montado com <i>fan</i>	33
Figura 27. A inserção do sensor de temperatura no suporte do motor	33
Figura 28. Ensaio de aquecimento interno do propulsor.	34
Figura 29. Componentes constituintes do módulo propulsor v.2	35
Figura 30. Processo de recartilhamento da envoltória de alumínio e o novo suporte do motor.....	36
Figura 31. Esquemático da autoclave e a autoclave com compressor.....	37
Figura 32. Componentes constituintes do módulo propulsor v.3	38
Figura 33. Elementos constituintes do motor:(a) Carcaça externa e eixo, (b) Bucha dos ímãs e ímãs, (c) Estator, Bobina e rolamento frontal, (d) Rolamento traseiro.	39
Figura 34. Hyperion Emeter II com RDU	41
Figura 35. Elementos da medição de empuxo do propulsor.....	42
Figura 36. Webcam, Extensor USB e Extensor USB-RJ45	43
Figura 37. Câmera SD analógica, Monitor dedicado e Câmera SPI	44
Figura 38. Câmera IP genérica e a DCS-2230	44
Figura 39. Vaso de pressão esférico com hidrofólio	45
Figura 40. Geometria Cilíndrica.....	46
Figura 41. Teste de deformação. (a) Pressão radial. (b) Pressão aplicada às bases.....	47
Figura 42. Compartimento eletrônico	50
Figura 43. Os 3 principais elementos estruturais: (a) Tampa de Proteção, (b) Estrutura Superior/Inferior, (c) Estrutura Principal	51
Figura 44. Componente Estrutural Montado.....	51
Figura 45. Teste de validação.....	52
Figura 46. Teste de vedação	52

Figura 47. (a) Tampa com conexões bullets e (b) DIN metálico	53
Figura 48. Vista Interna da Cápsula	54
Figura 49. Operação de faceamento da cápsula na fresa.....	55
Figura 50. Análise de tensões da cápsula	56
Figura 51. (a) Representação do contato (b) Circuito Sensor.....	57
Figura 52. Estrutura e parte constituinte da câmara	57
Figura 53. Molde para fabricação das bases.....	59
Figura 54. Aparato para laminação	59
Figura 55. Tampas de proteção	60
Figura 56. Célula de Carga.....	61
Figura 57. Flutuadores.....	62
Figura 58. <i>Nunchuck</i> (frente e trás) e o acelerômetro triaxial	63
Figura 59. Mapa de pinos do conector do <i>Nunchuck</i>	64
Figura 60. Ilustração da ligação <i>Arduino-Nunchuck</i>	64
Figura 61. Eixo de Coordenadas do <i>Nunchuck</i>	64
Figura 62. <i>CSA Poseidon Control</i> nos dois modos: Modo PC(superior) e Modo <i>Nunchuck</i> (inferior) .	66
Figura 63. Extensor USB - CAT5	66
Figura 64. Esquemático de balanceamento do sinal.....	67
Figura 65. Padrão T-568A do conector RJ45 e um conector DIN 8vias metálico.	68
Figura 66. Sistema de navegação montado.	70
Figura 67. ROV conceitual e construído	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Mortes por cidades satélites nos anos de 2006 a 2010	2
Tabela 2. Informações Técnicas do ROV Sea Lion 2	9
Tabela 3. Informações Técnicas do AC ROV 100.....	10
Tabela 4. Informações Técnicas do Ocean Module V8 Sii ROV.....	10
Tabela 5. Informações Técnicas do EyeBall ROV.....	11
Tabela 6. Informações Técnicas do ROV Jason.....	12
Tabela 7. Especificações do Motor	28
Tabela 8. Especificações do controlador de velocidade(Esc).....	28
Tabela 9. Legenda dos componentes do módulo propulsor v.1	32
Tabela 10. Especificações do retentor	32
Tabela 11. Legenda dos Componentes do módulo propulsor v.2	35
Tabela 12. Tabela teste autoclave.....	37
Tabela 13. Legenda dos componentes constituintes do módulo propulsor v.3	38
Tabela 14. Comparação entre as versões dos módulos propulsores.....	40
Tabela 15. Massa dos componentes	60
Tabela 16. Dados técnicos do <i>Arduino Mega 2560</i>	69
Tabela 17. Dados técnicos do IMU Razor 6DOF.....	69
Tabela 18. Dados finais do protótipo Poseidon.....	71

1. INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

A engenharia oceânica no Brasil tem sido impulsionada pelo progresso na tecnologia de exploração de petróleo, que vem sendo alcançado pela Petrobrás. Esta caminha a passos largos para o estabelecimento da exploração de petróleo em águas profundas. Com aumento da profundidade das áreas de produção cresce a importância da utilização de sistemas automáticos de suporte. Sistemas de posicionamento dinâmico, para navios e plataformas semi-submersíveis, e veículos operados por controle remoto, ou "ROVs", são exemplos. Particularmente, o uso comercial de "ROVs" como elemento de apoio à exploração petrolífera já é realidade há mais de uma década. A pesquisa e desenvolvimento em "ROVs" e similares mais avançados, como os veículos submersos autônomos, ou "AUVs", possui importância não só relacionada à exploração de minérios. ROV é a abreviatura de *Remotely Operated Vehicle*. Não existe tradução oficial no Brasil, mas esta poderia se dar como Veículo Subaquático Operado Remotamente, ou de Veículo subaquático de Operação Remota. A especificação do ambiente subaquático é importante para não confundir com outros veículos, como VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) ou veículos terrestres operados remotamente. Entre outras possíveis aplicações, pode-se citar o mapeamento e monitoramento de nossas águas territoriais, a pesquisa brasileira na Antártida e, como tema desse trabalho, em operações de busca e resgate de indivíduos e objetos em águas profundas. Nesses exemplos, a atividade humana seria dificultada devido à extensão da área a ser explorada e devido à hostilidade imposta pelo ambiente.

Na indústria do petróleo é usado principalmente na operação de poços, *manifolds*, posicionamento, construção e inspeção, acompanhamento do trabalho de mergulhadores, etc. Para que possa ser operado da superfície de navios ou plataformas submarinas, o ROV dispõe de computadores, cujos sinais são multiplexados entre a superfície e o veículo no fundo do mar. Normalmente são necessários piloto e co-piloto para as operações. Enquanto o piloto controla o veículo, o co-piloto cuida da operação dos braços, comunicação com a ponte de comando do navio ou plataforma, registro dos dados da operação etc. O ROV é composto por câmeras de televisão ligadas a uma estrutura que se pode movimentar graças às hélices ligadas a motores elétricos ou hidráulicos. O equipamento possui flutuador e braços que podem fazer movimento quase como se fosse um braço humano, e um conjunto de sensores que captam dados e transmitem via cabo para a superfície, onde é interpretada pelos pilotos e analistas de operação submarina.

1.2. ESTUDO DE APLICAÇÃO

O estudo de ROV's foi motivado principalmente por meio de demandas do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal em operações de busca e resgate no Lago Paranoá.

Procurava-se também maior investimento em recursos tecnológicos capazes de fornecer menor desgaste e maior segurança no trabalho da equipe dos mergulhadores da corporação.

Nesse sentido, gerou-se oportunidade para a realização de uma parceria com a universidade para a formação de recursos humanos e desenvolvimento de tecnologia adequada às necessidades, tendo em vista a construção de um protótipo que supririam às necessidades requeridas pelos mergulhadores em longas buscas que oferecem condições nocivas ao organismo humano.

A partir do estudo realizado por Franco (2011) foram levantados os dados de afogamento no Distrito Federal, por meio da Tab. 6, que mostra o número de mortes por afogamento no DF. Embora não haja informações neste trabalho o número de ocorrências específicos em lagos e rios da região, estas se verificam nos números presentes e requerem recursos especiais de busca e resgate.

Tabela 1. Mortes por cidades satélites nos anos de 2006 a 2010

Faixa	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Asa sul	4	4	3	0	3	14
Asa norte	1	3	3	1	0	8
Cruzeiro	1	1	1	1	0	4
Guará	1	1	0	2	1	5
Paranoá	4	1	3	5	3	16
SIA	0	0	0	0	0	0
Lago Norte	1	3	3	3	4	14
Lago Sul	4	5	6	3	1	19
N. Band.	1	1	0	0	0	2
Taguatinga	4	3	1	1	1	10
Sobradinho	0	3	2	2	0	7
Gama	4	4	2	1	2	13
Ceilândia	7	7	6	6	2	28
Planaltina	3	5	2	1	1	12
Brazlândia	1	2	4	4	1	12
Samambaia	3	1	5	5	1	15
Recanto	2	0	0	1	0	3
R. Fundo	2	0	0	0	0	2
S. Sebastião	4	3	2	3	0	12
Sta. Maria	1	0	1	2	1	5
Vicente Pires	0	0	1	1	0	2
Total	48	47	45	42	21	203

< Fonte: Tese de mestrado -O perfil das mortes por afogamento no Distrito Federal: uma análise do cenário atual sob a ótica da gestão da informação >

Os ROV's terão caráter de buscas de corpos e objetos principalmente submersos no fundo do lago Paranoá. Muitas vezes testemunhas acusam que a pessoa se afogou em um dado ponto quando na

verdade este é encontrado em até mais de 25 metros de distância do local. O mesmo ocorre com objetos de valor judicial ou material que são lançados ou perdidos no lago.

A partir de reunião junto ao corpo de bombeiros e com base nos desenvolvimentos do primeiro protótipo foram definidos os principais requisitos de projeto. Dessa forma o veículo deve possuir:

1. Hélices com proteção para não enrolarem em linhas de pescaria, cabos cordas e demais obstáculos como galhadas e outros objetos;
2. Câmera com lentes de foco regulável;
3. Sistema de iluminação com variação na intensidade da luminosidade;
4. Sensor infravermelho, sensores de aproximação de objetos e sonar;
5. Visibilidade tipo *nightshot*;
6. Pegadores que possibilitem ao menos levar a alça de um cabo até o objeto encontrado, para posterior tracionamento e retirada do mesmo por parte da equipe de superfície;
7. Encaixe compatível com as bóias de salvamento aquático utilizadas pelo CBMDF, em seu apoio inferior;
8. Resistir no mínimo uma profundidade de 40 m.

Além da motivação principal por demandas do CBMDF, veículos subaquáticos são objetos de pesquisas de diversas outras empresas de grande importância como a Petrobrás. Embora com profundidade mais elevadas do que aquelas verificadas no Lago Paranoá, em Brasília, os estudos realizados no presente trabalho poderão ser utilizados como base para pesquisas acerca da aplicação de ROV's em condições mais severas de pressão e fluxo de água.

1.3. OBJETIVOS

Projetar ROV capaz de atender às necessidades do Distrito Federal, analisando quais as suas possíveis empregabilidades. Como também produzir ou selecionar seus elementos de forma que garantam bom funcionamento no lago Paranoá. Para tanto realizar pesquisa que forneça bases necessárias para dar seqüência ao projeto e construção do protótipo.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O relatório se apresenta organizado de forma que o capítulo 2, de desenvolvimento, apresenta uma breve revisão bibliográfica do conteúdo abordado pelos ROV's e cada mecanismo. O terceiro capítulo contém o procedimento realizado para construção do primeiro protótipo. Já o quarto diz respeito ao mais novo projeto de ROV com suas devidas explanações de aplicação.

1.5. METODOLOGIA

Para obter melhores resultados nas pesquisas e realizar o estudo com direcionamento para o objetivo final de se projetar com as melhores características existentes, utilizou-se de uma metodologia que se direcionasse para onde se queria chegar.

O estudo começou com a necessidade de buscas em áreas aquáticas do DF pelos bombeiros, que estavam tendo dificuldades nesta tarefa por diversos motivos posteriormente analisados. Com isso uma pesquisa foi feita a respeito de mini submarinos que pudessem realizar a tarefa chegando ao modelo ideal intitulado ROV.

A partir deste buscou-se conhecer amplamente para chegar a um modelo ideal, pesquisando então por: sua definição; elementos constituintes; suas aplicações; características estáticas e dinâmicas; e seus modelos.

A pesquisa a respeito dos modelos principais disponíveis no mercado é de grande importância para que se possa apontar aquele ideal para a aplicação almejada e observar os itens adicionais que levam a modernizar o protótipo.

Com estas pesquisas conhecimento suficiente foi obtido para construção do primeiro protótipo, que teve projeto menos ambicioso para se conhecer o procedimento para materialização deste assim como a familiarização com seus elementos básicos e dinâmicos.

Com o sucesso do primeiro robô estudou-se mais a fundo sua aplicação para modificar o próximo modelo conforme necessidades. Em função de seu emprego buscou-se pelo estudo de melhor estrutura, dinâmica, e projeto elétrico que se aplicaria para serem tomadas decisões daquilo que seria mais conveniente de ser aplicado. O estudo estende-se por mais elementos a serem empregados e construção final do protótipo demandando maior tempo e tornado necessário a sua continuação através de observação feita para trabalhos futuros que encerram esta pesquisa.

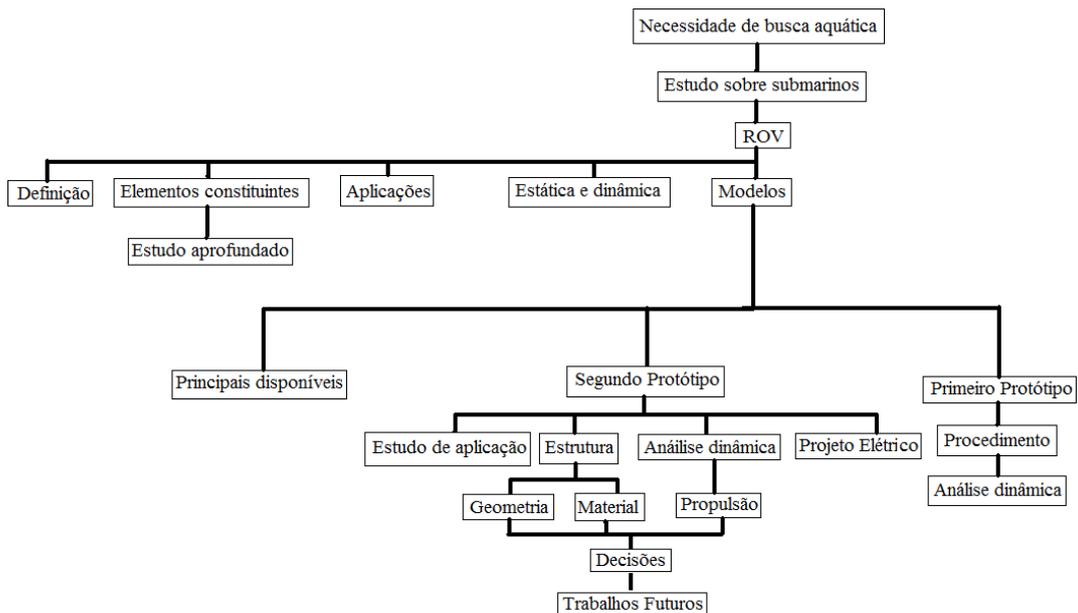


Figura 1. Metodologia

2. “REMOTE OPERATED VEHICLES”(ROV’s)



Figura 2. ROV auxiliando mergulhador

< Fonte: <http://www.asc-csa.gc.ca> >

2.1. INTRODUÇÃO AOS ROV’S

A navegação subaquática tem fascinado a humanidade por muitos anos, desde os primeiros protótipos submarinos até os mais modernos robôs, autônomos ou não, empregados por razões militares científicas ou turísticas. As primeiras pesquisas subaquáticas possuem referência nos escritos de Leonardo da Vinci, que pode ter construído um protótipo de madeira para barco submersível vedado com pele de cabra e propulsionado por remos, porém não existe comprovação se seu experimento funcionou.

O primeiro relato de submersível que obteve sucesso aconteceu em 1578 desenhado por William Bourne e aperfeiçoado por Cornelius Drebel[Harris, 2001]. Baseado na obra de Da Vinci utilizava os mesmos elementos com adicional emprego de lastros necessários para controlar submersão do veículo e parafusos para controle de água na emersão.

Uma grande evolução em pesquisas e construção de primeiros protótipos se deu a partir do século XII com as poderosas vantagens estratégicas que os submersíveis trariam ao atacar navios

inimigos. O modelo que contém as principais características dos modelos atuais foi projetado em 1900 com motores elétricos e baterias.

Infelizmente algumas pessoas morreram na tentativa de fazer com que os submarinos funcionassem agregados ao grande risco de se tentar alcançar regiões de difícil acesso como interior de navios naufragados e grandes tubulações. Com isso tornou-se necessário a construção de um equipamento que realizasse as tarefas sem que fossem ameaçadas vidas humanas tanto no uso de submarinos como para o mergulhador por si só. Começaram-se então as pesquisas por um veículo operado remotamente capaz de suportar elevadas pressões e realizar diversas tarefas no fundo de lagos, rios oceanos etc. Este robô recebeu o nome de ROV (Remotely Operated Vehicle)[Christ,2007].

O primeiro ROV foi desenvolvido pelo francês Dimitri Rebikoff [Christ, 2007], com aplicação em arqueologia subaquática. Como estes inúmeros outros foram construídos especializados em muitas outras operações, principalmente àquelas voltadas a exploração, ou de realizar e supervisionar a montagem de equipamentos em grandes profundidades. Os robôs foram construídos em tamanhos cada vez menores e atingem maiores profundidades como o que chegou ao Titanic, em 1986, a 4000 metros de profundidade, ou do famoso vazamento de petróleo a 1500 metros de profundidade no Golfo do México em 2010, ou ainda aquele responsável por localizar os destroços do Air Bus do voo 447 da Air France, que desapareceu no Atlântico em 2009.

ROV's são muito importantes por poderem ser construídos de diversos tamanhos e serem capazes de proporcionar movimentos com perfeição navegando em regiões aonde nem mesmo o mergulhador poderia alcançar; suportar elevadas pressões, ou permanecer por muito tempo no local.

Estes robôs não são capazes de funcionar sem o auxílio de um cabo transmissor de energia, devido às elevadas perdas de transmissão via rádio em água, portanto é necessário longo cabo umbilical que acompanham o ROV por onde ele for fornecendo comunicação bidirecional e transporte de energia. Este caso também é conhecido como *chien plongeur*, que significa cachorro mergulhador[Christ, 2007].

Os ROV's são divididos em duas classes: ROV de observação (observation ROV), e ROV de trabalho (work class). ROV's de observação tem a função básica de filmagem embaixo de grandes volumes d'água permitindo captura por diversos ângulos, sendo normalmente menores que um metro cúbico e não possuem braços. Já os ROV's de trabalho possuem grande variedade de dimensões podendo chegar a mais de três metros de comprimento por dois de altura, pesando mais de três toneladas, e carregam várias ferramentas e artefatos para realizarem tarefas em poços ou submarinos [Christ, 2007].

ROV's de trabalho possuem comando bem mais complexo, sendo algumas vezes necessários piloto e copiloto para realizar operações. Enquanto o piloto controla o veículo, o copiloto está operando os braços; registrando os dados de operação; comunicando a ponte de comando do navio etc.

O mercado para pilotos de ROV se consolidou há vários anos atrás no Brasil em regiões de alto mar(offshore) na explorações de óleo e gás e ainda garantida pelas novas descobertas do pré-sal.

As explorações costeiras (inshore) e interioranas (inland) ainda não foram muito exploradas e observando-se boas oportunidades para aqueles que desejam ingressar nesta área.

Pilotos de ROV em regiões de exploração de petróleo normalmente ficam embarcados ou em plataformas em alto mar por períodos de 15 dias ou mais. As exigências feitas para que o piloto possa ser inscrito no CREA, podendo assim atuar em explorações de óleo e gás, são de no mínimo nível técnico em áreas como elétrica; mecânica; mecatrônica; eletrônica, ou hidráulica. Caso se queira atuar fora do país é necessário que se ateste experiência em algumas de tais áreas no segmento de ROV.

2.2. ELEMENTOS CONSTITUINTES

Para bom funcionamento do ROV na verdade são necessárias ferramentas especialmente fabricadas para cada aplicação, portanto poder-se-ia citar inúmeros componentes diferentes já feitos. Porém existem aquelas que são comuns a todos e entender cada um garante que um conhecimento básico do funcionamento do robô seja concluído.

Os constituintes básicos organizados de fora para dentro do ROV são:

Computadores

Realizam a transmissão das imagens captadas pelo ROV. Também são importantes para gravar os dados como também as imagens coletados durante a submersão.

Controle

É realizado por meio de controles analógicos, informalmente denominados *JoySticks*, comandados pelo operador em terra firme. É comum serem usados mais de um conforme a complexidade da tarefa, fazendo com que um deles se ligue aos comandos de locomoção e os demais para comando das ferramentas periféricas. Alguns mais avançados possuem também um sistema de controle automático para corrigir os distúrbios causados por correntes, marés ou força de arrasto do cabo. Utiliza-se para correção destas perturbações um braço mecânico passivo (BMP) para posicionamento dinâmico, ou um sistema de medição inercial.

Cabo umbilical

Fios elétricos necessários a transmissão de dados coletados pelo robô submarino. Muitos metros, ou talvez quilômetros, de cabo são necessários, devido as profundidades a que o ROV deve chegar, que ultrapassam com frequência os 1000 metros e são necessários ainda mais alguns para movimento paralelo à superfície. Tais cabos são indispensáveis, pois ainda não se desenvolveu um tipo de transmissão sem fio que fosse capaz de transmitir dados a grandes profundidades em baixo d'água.

Estrutura

O ROV deve possuir uma estrutura a qual possam ser acoplados seus elementos básicos e ferramentas adicionais de trabalho. Normalmente essas partes podem ser vazadas para facilitar a dinâmica e, portanto não necessitam que sejam projetadas para suportarem grandes pressões. Talvez seja importante, entretanto que sejam capazes de suportar eventuais impactos provocados pelas marés.

Vaso de pressão

Faz-se necessário o estudo da estrutura que abriga a câmera e demais componentes eletrônicos que não podem entrar em contato com água. Uma análise teórica e experimental deve ser feita antes de colocar o ROV em funcionamento para que não se tenha prejuízo com componentes eletrônicos que representam a parte mais dispendiosa na construção do ROV.

Motores

São estes os responsáveis por transladarem e rotacionarem o ROV. Em sua totalidade são utilizados motores elétricos e comumente se empregam motores brushless por possuírem maior torque e maior potência por serem trifásicos. Quanto maior a quantidade de motores empregados maior é a quantidade de graus de liberdade disponíveis para o movimento, assim como maior também é a precisão e controle do ROV, porém torna-se mais difícil o operador controlar muitos graus de liberdade, necessitando de auxílio de softwares de controle e treino para operação. Acoplado ao motor vai hélice que também deve ser estudada para cada aplicação.

Sistema de iluminação

Seu uso é de extrema importância, pois em profundidades maiores que trezentos metros a iluminação solar oriunda da superfície é em grande parte dissipada, o que dificulta a visualização e operação do ROV. Porém, não se pode utilizar lâmpadas de qualquer tipo, pois é necessário que se projete lâmpadas capazes de suportarem elevadas pressões e com alta potência para garantir boa visibilidade. Sua luminosidade deve ser passível de controle, porque em casos de haver muita sujeira suspensa, uma forte iluminação pode causar reflexão da luz ofuscando as imagens.

Câmera

Equipamento essencial já que os ROV's não possuem funcionamento autônomo. Estas podem ser equipadas com movimento angulares de guinagem e arfagem (comumente denominados na sua equivalência em inglês de câmeras *pan-tilts*) para auxiliar em melhor observação de objetos nas profundezas.

2.3. MODELOS

Uma pesquisa foi realizada para saber quais componentes adicionais são mais empregados, e ter um entendimento geral a respeito das geometrias e dos tipos de partes básicas empregadas. Para tanto foram selecionados os ROV's mais distintos entre si para oferecer ao leitor uma ideia abrangente destes veículos.

2.3.1. SEA LION 2

Tabela 2. Informações Técnicas do ROV Sea Lion 2

Modelo	Sea Lion 2
Fornecedor	JW Fishers (EUA)
Dimensões	Comprimento: 23”(582 mm) Largura: 16”(406 mm) Altura: 12”(305 mm)
Peso	43lb(19.5 kg)
Profundidade	1000 pés (305 m)



Figura 3. ROV Sea Lion 2, um exemplo de ROV com estrutura cilíndrica.

< Fonte: <http://www.jwfishers.com/> >

Esse ROV possui câmeras *pan-tilt* na parte frontal e traseira do veículo, oferecendo duas imagens ao operador. A iluminação de câmera principal é feita por potentes lâmpadas de tungstênio e halogênio, já a traseira é feita por um anel de LEDs de forte luminosidade. Este modelo possui 4 motores de elevado torque. É capaz de chegar a 304,80 m de profundidade com cabos de 457,20 m. Para controle são usados joysticks de PlayStation 2 através da observação de um monitor em um compartimento a prova d'água de 26,42 centímetros.

Ele também possui uma série de elementos que podem ser pedidos adicionalmente como: Sonar; braço com função única de abrir e fechar a garra; sensores adicionais de bússola, temperatura e profundidade; controle automático de profundidade; controle automático de distância da superfície; controle automático de movimentação horizontal; programação por software dos movimentos; mais duas câmeras; gravador de DVD.

2.3.2. AC ROV 100

Tabela 3. Informações Técnicas do AC ROV 100

Modelo	AC ROV 100
Fornecedor	AC-CESS (Reino Unido)
Dimensões	Comprimento: 8”(203 mm) Largura: 6”(152 mm) Altura: 5.75”(146 mm)
Peso	6.6 lb (3 kg)
Profundidade	100 msw (<i>meters of sea water</i>)



Figura 4. AC ROV 100, um exemplo de ROV com estrutura cúbica.

< Fonte: <http://www.ac-cess.com/>>

Este ROV é um dos menores disponíveis no mercado. Suas dimensões são de 203mmx152mmx146mm, pesando apenas 3Kg para que possa adentrar pequenas áreas de confinamento que oferecem elevados riscos . Aparece como uma das melhores opções custo benefício para menores investimentos. Possui 6 motores que permitem realizar círculos e rotacionar sobre seu eixo. Sua câmera é CCD colorida com 4 grupos de leds integrados que permitem variar sua intensidade. Pode chegar a profundidades de até 100 metros, porém vem com cabos de 80 metros que podem ser conectados nas partes de trás, frente ou de baixo. Podem carregar uma carga paga (carga descontada de seu peso que é capaz de levantar) de até trezentos gramas.

2.3.3. OCEAN MODULE V8 SII

Tabela 4. Informações Técnicas do Ocean Module V8 Sii ROV

Modelo	Ocean Module V8 Sii
Fornecedor	Ocean Modules (Suécia)
Dimensões	Comprimento: 800 mm Largura: 700 mm Altura: 500 mm
Peso	60 kg
Profundidade	1000 m



Figura 5. Ocean Module V8 Sii ROV, um exemplo de ROV com estrutura caixa.

< Fonte: <http://www.oceanmodules.com> >

Com certeza um dos ROV's mais modernos disponíveis a venda. Este ROV é utilizado pela Guarda Costeira sueca, e outras entidades ao redor do mundo para policiamento, busca & resgate, uso militar, inspeção e construção e demais aplicações. É muito requisitado devido a sua elevada performance e estabilidade, precisando de muito pouco quase nenhum treino pelo operador. Possui sonar e câmeras de alta qualidade, e 8 motores que garantem movimentos perfeitos em quaisquer condições que se queira executar o movimento com auxílio de softwares que auxiliam na navegação. Possui braço mecânico que auxilia nas operações.

2.3.4. EYEBALL ROV

Tabela 5. Informações Técnicas do EyeBall ROV

Modelo	EyeBall ROV
Fornecedor	Sub Sea Research LLC (EUA)
Dimensões	Comprimento: 21" (535 mm) Largura: 25.6" (650 mm) Altura: 22" (565 mm)
Peso	90 lbs (42 kg)
Profundidade	1000 pés (305 m)



Figura 6. EyeBall ROV, um exemplo de ROV com estrutura esférica.

< Fonte: <http://www.subsearesearch.com/technology.html> >

Este ROV possui esta forma alternativa no formato esférico que é viável devido a sua boa simetria para garantir um elevado valor de pressão crítica com menor espessura e material de menor qualidade. Possui a vantagem de serem utilizados somente dois motores capazes de angularem para gerar movimentos em todas as direções ou ainda utilizar uma massa excêntrica que se movimenta internamente assim como um globo ocular, porém de forma não muito estável fazendo necessário grande interferência softwares para controle.

2.3.5. JASON ROV

Tabela 6. Informações Técnicas do ROV Jason

Modelo	Jason
Fornecedor	Woods Hole Oceanographic Institution (EUA)
Dimensões	Comprimento: 134" (3,4 m) Largura: 88" (2,2 m) Altura: 96" (2,4 m)
Peso	8100 lbs (3675 kg)
Profundidade	6500 m



Figura 7. ROV Jason, um exemplo de ROV classe Worker.

<Fonte: <http://www.whoi.edu/>>

Uma classe de ROV bem diferente das anteriores percebidas a começar por suas dimensões. É capaz de descer a mais de 5 km de profundidade. Jason é equipado com sonares; case de amostras de água. Seu braço manipulador é capaz de coletar amostras de pedras, e algumas espécies de vidas marinhas guardadas em um elevador de plataforma. Este robô mergulha em média por 21 horas, e já ficou submerso por 100 horas. O protótipo Jason Jr, foi utilizado nas explorações do Titanic.

2.4. ESTÁTICA E DINÂMICA GERAL

A estática vertical do ROV é feita de modo que se garanta maior fluutuabilidade, sendo mais fácil adicionar mais peso posteriormente caso seja necessário para deixá-lo com centro de massa definido na posição conveniente. ROV's em geral normalmente utilizam os flutuadores na parte superior da estrutura e pesos adicionais, se forem necessários, na inferior, pois caso contrário poder-se-ia estabelecer o equilíbrio instável, onde o ROV se encontra estático e com uma pequena

perturbação tenderia a rotacionar para atingir a situação mais estável anteriormente citada exigindo mais comando de motores para torná-lo estático.

A distribuição de peso e bóias no ROV deverá ser feita de forma simétrica presas a estrutura, ou ainda exatamente fixada sobre o centro de massa deste, para que haja menor atuação de comando dos motores para que este fique estável em quaisquer posições.

Existem três condições básicas de flutuabilidade: neutra; negativa ou positiva, sendo as três formas muito empregadas e dependentes do gosto do projetista. Sem atuação dos motores na forma neutra o ROV permanece estático ou em movimento uniforme, enquanto a positiva tenderia a fazê-lo subir e a negativa descer.

As formas neutra e negativa exigem de maior habilidade do operador, pois este não deve chegar muito próximo ao solo ou mesmo encostar-se à superfície fazendo com que suspenda poeira dificultando bastante a observação.

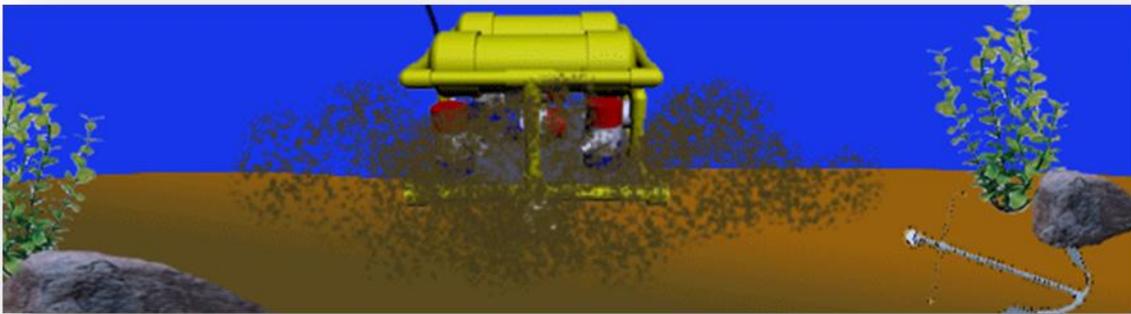


Figura 8. Aproximação ao Solo

<Fonte: <http://homebuiltrovs.com/howtobuoyancytips.html>>

A forma positiva possui a vantagem de caso o ROV perca força este será capaz de retornar a superfície sozinho, facilitando o posterior resgate pelo operador. Se o ROV possui a função de resgate de objetos este tipo de configuração também é muito utilizada, pois juntamente com a força que o motor possui será determinada a quantidade de carga que poderá carregar para retorna a superfície.

Existem ROV's mais simples que possibilitam somente translação horizontal e vertical com rotação em somente um eixo para que possam retornar ao ponto de partida, até mais complexos que realizam rotação em dois ou três eixos independentes, possibilitando assim todos os graus de liberdade. Conforme a complexidade dinâmica requerida aumenta, são ao mesmo tempo solicitados mais motores; maior complexidade de programação de comando, e maior habilidade pelo operador.

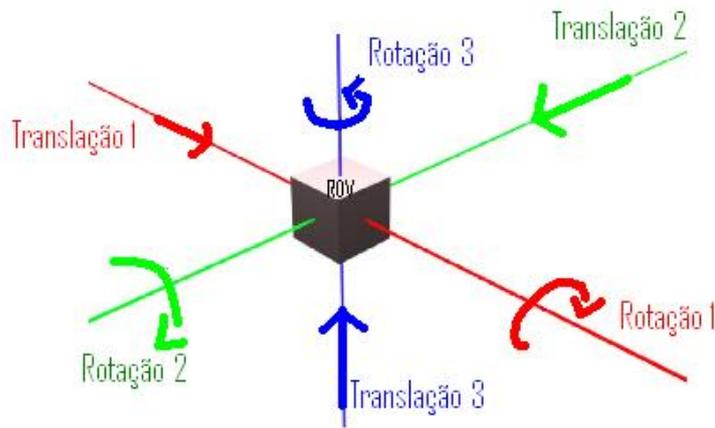


Figura 9. Graus de Liberdade

Em alguns casos para se conseguir o mesmo efeito de capacidade de visualização de objetos em diferentes ângulos e em posições que se pode utilizar o movimento das câmeras ao invés da rotação de toda a estrutura.

2.5. APLICAÇÕES

Quaisquer tarefas que exijam serem realizadas em baixa, média ou grandes profundidades podem ser realizadas através de ROV's, bastando que se façam melhorias especificadas para cada tipo de serviço. No Brasil existem aplicações na exploração de petróleo e gás, com exploração de recursos em águas profundas e ainda portuária, ou ainda em inspeções de navios ou cais. Existem também por aqui aplicações em operações de segurança, inspeções de obras em projetos de engenharia, e missões de resgates subaquáticos.

Os ROV's ganharam também o mercado na área de educação, onde existem hoje inúmeros cursos para ensino e treinamento com mais de 40 horas de duração. Equipadas com diversos simuladores de operações assim como os próprios ROV's, as instituições fornecem todo recurso disponível para aqueles que desejam se especializar nesta profissão que vem se mostrando uma das mais promissoras do mundo.

Em aplicações feitas ao redor do mundo em regiões costeiras ou interioranas existem as tarefas de inspeção de cascos de navios ou estruturas de cais; inspeções de barragens; pontes; condutos de usinas hidrelétricas; piscinas de condicionamento ou resfriamento de material radioativo em estações nucleares; vistoria de sistemas de água e esgoto; aquicultura; fazendas marinhas; soldagens em geral e posicionamento de sensores para testes não destrutivos (NDT).

Já nas aplicações em alto mar existem ainda missões de policiamento marítimo e segurança portuária; pesquisas biológicas, oceanográficas e arqueologia subaquática assim como também quase

todas as que são realizadas nas regiões costeiras. Mas nesta área a aplicação de destaque e larga pesquisa por todas as empresas do ramo têm sido no mercado de petróleo.

Com maior foco no final dos anos 90 o mercado de exploração de petróleo se encontra como uma das principais fontes de investimento e novas tecnologias realizadas pelo Brasil. Com isso houve o aprimoramento de procedimentos, ferramentas e demais equipamentos necessários para explorar esta fonte de riqueza.

O ROV atuante neste setor possui várias empregabilidades diferentes sendo utilizado principalmente em construção e inspeção; auxílio nos trabalhos de mergulhadores; quaisquer operações de poços; passam, portanto desde a prospecção e exploração até a produção deste bem. Para se tiver uma ideia à indústria petrolífera julga ser impossível obter os mesmos resultados com o mesmo tempo sem o auxílio deste robô.

As ferramentas utilizadas para exploração do petróleo foram então adaptadas para que pudessem ser utilizadas pelo robô com produção exclusiva para cada finalidade. ROV's utilizados para esta finalidade são capazes de submergirem a mais de três mil metros de profundidade.

Enquanto a tecnologia nacional não é bastante para suprir as necessidades milhões são gastos com operações de empresas estrangeiras que oferecem o serviço. Um exemplo é da empresa SubSea, que fechou um contrato, em 2010, para trabalhos no Brasil no valor de 33 milhões de reais, sendo pagos pela companhias Petrobrás e Shell. O ROV Hércules 13 será empregado para a Petrobrás para serviços de intervenção submarina, enquanto para Shell serão utilizados os mais modernos chamados Centurium QX, que são menores e menos pesados para auxílio na perfuração de poços. O uso destes robôs é tão seguro que a empresa comemora 13 anos sem acidentes em serviços subaquáticos.

A própria Petrobrás também está realizando seus investimentos para desenvolvimento de seus próprios ROV's e em parceria com a PUC-Rio; ECA Hytec e Orteng AC service, desenvolveu seu robô para inspeção de cascos de navios através de ultrassom para medir sua espessura e câmera para inspecionar visualmente.

3. PRIMEIRO PROTÓTIPO: WATCHBOT



Figura 10. WatchBot

3.1. PROCEDIMENTO DE PROJETO

Com o intuito de uma pesquisa inicial e aprender sobre o funcionamento de ROVs foi construído um primeiro exemplar com as funções mais básicas, e movimentos restritos para que se pudesse chegar mais rápido aos modelos complexos através de experiência prévia. O tipo de ROV escolhido foi então de observação.

Para dados desta pesquisa utilizou-se o manual de construção da SeaPerch, que é uma ferramenta educacional comumente utilizada nos Estados Unidos pela engenharia naval para introduzir aos alunos americanos os conhecimentos de ROV's oferecendo opções básicas de procedimentos de montagem. O manual citado não foi seguido exatamente igual, pois no decorrer houve segurança o bastante para propor melhoramentos e mais recursos como o caso do uso de um sistema de controle eletrônico e da câmera integrada.

O projeto foi proposto com três unidades de construções individuais: a estrutura, os motores e seu casulo, e caixa de comando, sendo adicionada mais uma unidade para construção do enclausuramento da câmera.

Para este ROV a seguinte lista geral de material foi utilizada:

- Canos e conexões em PVC de dois diâmetros
- 3 motores DC de 12 volts
- Componentes eletrônicos básicos (chaves; placas de fenolite; fios, etc)
- 2 fusos com porcas
- WEBCAM
- Realimentador para cabos USB
- Silicone e cola PVC
- Abraçadeiras e prisilhas
- Hélices de coolers de computador

Deu-se início a construção do Watchbot, com a estrutura cortando e colando os tubos com as conexões de PVC, sempre deixando furos feitos nos joelhos para que propositalmente entrasse água evitando maiores problemas com empuxo adicional na estrutura. Tolerâncias não foram especificadas no manual de montagem, porém recomenda-se cortar as peças com uma margem de 1 mm de tolerância para manter a estrutura mais perto do projeto proposto.

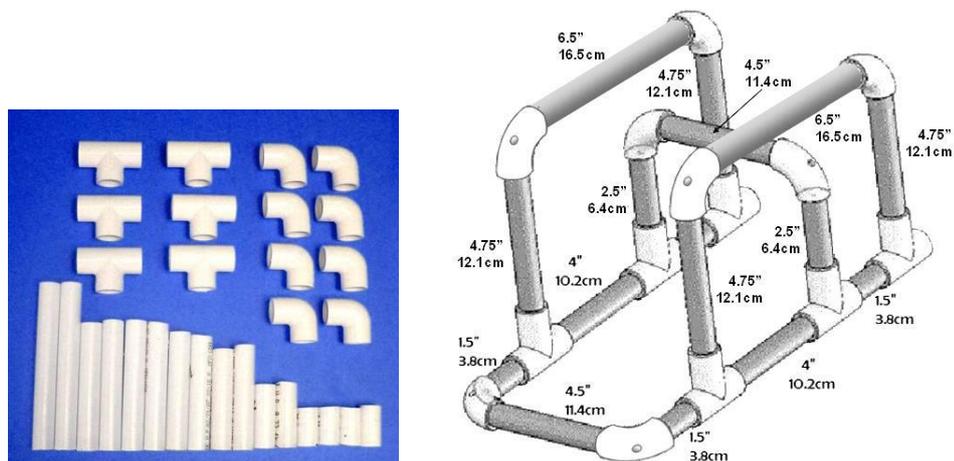


Figura 11. Estrutura WatchBot

< Fonte: <http://www.seaperch.org/> >

Como os cortes foram feitos com auxílio da retífica, e também de um serra-arco, não havendo grande precisão, porém a tolerância para este tipo de construção pode ser maior devido ao ajuste final que é feito ao encaixar os tubos nas conexões possibilitando posicionar a estrutura na medida correta anteriormente estipulada de projeto.

Como a tolerância é dada pela diferença entre a dimensão máxima e mínima, e pode se constatar na montagem algumas medidas com afastamento superior de até 2mm e outras de afastamento inferior com também 2mm a tolerância obtida foi então de 4mm não gerando qualquer problema para posterior montagem.

A princípio foram feitos 2 tubos vazios hermeticamente fechados para que fosse fornecida a força de empuxo necessária para se equilibrar com o peso do artefato, garantindo a condição de neutralidade de movimentação vertical. Entretanto como foi feita uma cápsula adicional para alojar a câmara esta já forneceria a força de empuxo necessária podendo-se eliminar os tubos. Para igualar com precisão o empuxo ao seu peso dois fusos metálicos foram adicionados juntamente com mais um conjunto de porcas que seriam adicionadas uma de cada vez até que se chegasse ao equilíbrio correto.

Para a vedação dos motores utilizou-se fita isolante para fechar os canais expostos e impedir de entrar água rapidamente caso houvesse falha dos invólucros mais externos, colocando ainda EVA com um furo bem pequeno e a colocação de graxa antes e depois da montagem no eixo do motor para permitir que este continuasse rotacionando sem muita dificuldade. Tentou-se fazer então a recomendada cápsula para vedação final do motor, contudo deveria ser usada cera preenchendo o espaço vazio entre a cápsula e o motor o que levaria a difícil manutenção. Esta etapa não foi aprovada levando a alternativa de vedá-lo com silicone, sendo aprovado por testes preliminares no tanque de ensaio.

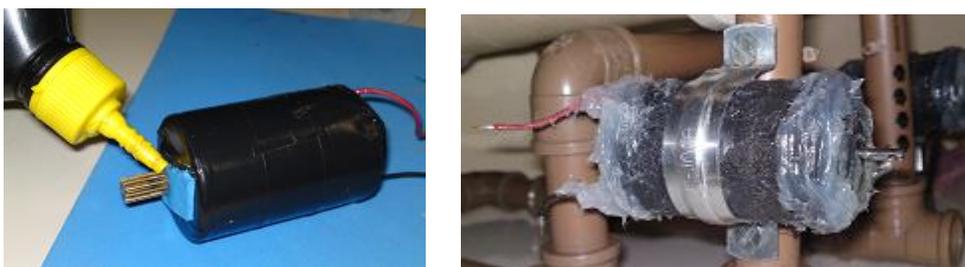


Figura 12. Motor

Na construção da vedação da câmara foi pensado em se colocar um tubo maior que o tamanho necessário para se encaixar o motor devido à necessidade de se ter um centro de empuxo significativo. Para parte anterior do compartimento da câmara utilizou-se tampa opaca de PVC com anel adicional de borracha garantindo que não entrasse água. Para a parte frontal, onde teria que ser transparente a fim de possibilitar observação pela câmara, foi cortado um pequeno cilindro de acrílico e torneado do

seu centro até quase a borda para fazer o formato de tampa empregando-se por fim pasta de diamante para devolver a transparência da peça.



Figura 13. Vedações

No tubo também foi utilizada borracha EVA e silicone para vedação dos fios que dela saiam a partir de um furo maior e outro para melhor colocação da tampa traseira, assim como também na tampa de acrílico.

3.2. ANÁLISE DINÂMICA PARA POSICIONAMENTO DOS ELEMENTOS

Os motores foram então colocados na estrutura através de abraçadeira de forma que dois deles seriam usados para garantir os movimentos de translação horizontal e rotação, sendo posicionados simetricamente na parte traseira do ROV, já o terceiro sendo empregado com a função única de translação vertical.

Com finalidade de mensurar a grandeza da força aplicada por cada motor foi realizado um experimento utilizando-se uma balança digital acoplada a uma haste, onde em sua outra extremidade estaria preso o motor submerso em água, conforme desenho ilustrativo na Fig. 14.

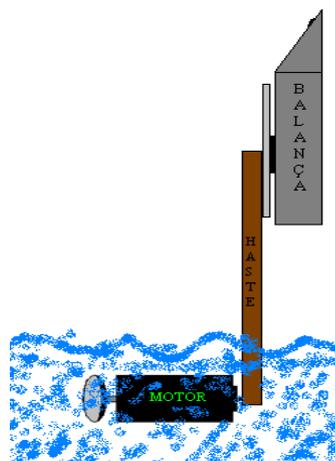


Figura 14. Ilustração do ensaio de empuxo do motor

O motor foi então ligado e a leitura foi feita por uma célula de carga. A força que a balança acusa é a mesma que o motor estaria fazendo, pois um binário é criado com intensidade resultante igual a zero. Para cálculo da força feita por cada motor fez-se:

$$F = m \cdot g \quad (1)$$

onde m é a leitura da balança que acusou 0,1Kg. Portanto temos:

$$F = 0,1 \cdot 9,81$$

$$F = 0,981 \text{ N}$$

Para que o ROV realizasse os movimentos de rotação e translações desejadas um estudo do seu centro de massa foi feito para que se soubesse o posicionamento correto de seus motores na estrutura. A figura na página seguinte ilustra os dois motores que fornecem movimento horizontal do ROV, e toda estrutura deste foi representada pelo seu centro de massa para que a análise fosse simplificada.

Para que o movimento de translação fosse realizado os dois motores seriam ligados simultaneamente com mesma rotação provocando o mesmo sentido de força e como os motores são iguais o módulo da força aplicada seria o mesmo, conforme a parte 1 da Fig. 15. Nesta ilustração os esforços resultantes foram transportados para o centro de massa do ROV onde a análise dinâmica é mais fácil de ser feita.

Para este caso realizando o somatório de torques temos:

$$T_r = F \cdot \frac{d}{2} - F \cdot \frac{d}{2} \quad (2)$$

logo:

$$T_r = 0$$

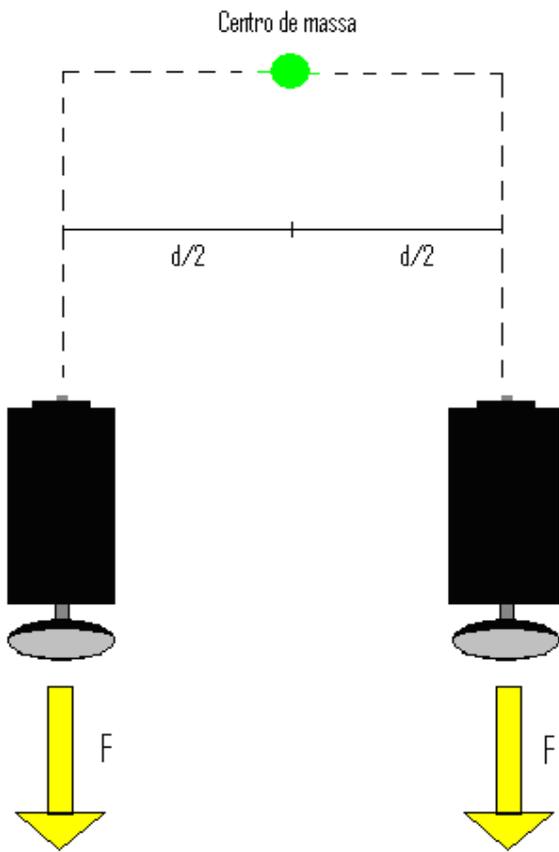
Confirmando assim que neste caso não rotacionaria. E para o somatório de forças temos:

$$F_r = F + F \quad (3)$$

$$F_r = 1,962 \text{ N}$$

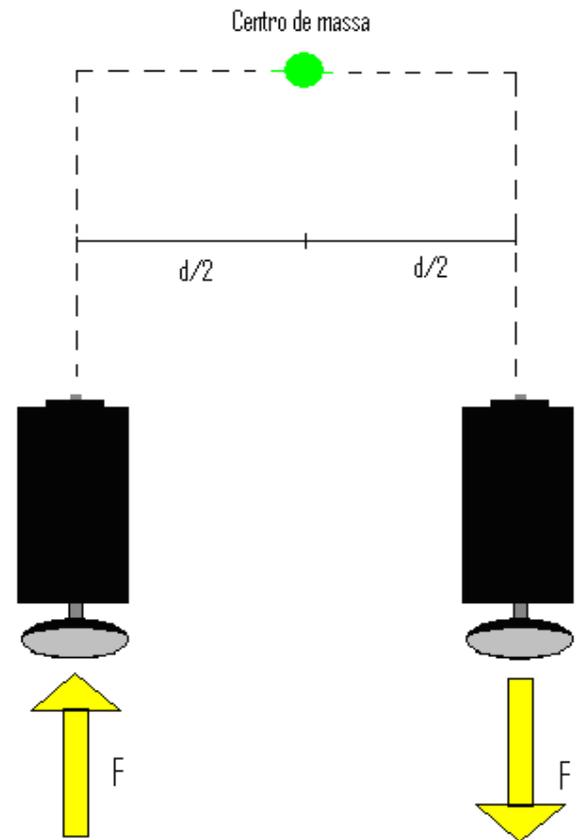
1

Situação em que os dois motores estão ligados com mesmo sentido de rotação gerando forças, representadas em amarelo, de mesmo sentido. Com isso o centro de massa do ROV, representado de verde, tenderia a transladar.



2

Situação em que os dois motores estão ligados com sentidos opostos de rotação gerando forças, representadas em amarelo, de sentido contrário. Com isso o ROV tenderia a rotacionar em torno do seu centro de massa, representado de verde.



Análise no Centro de Massa

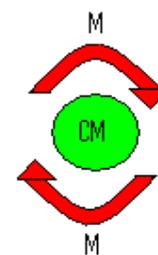


Figura 15. Análise Dinâmica

Caso se quisesse que o protótipo se locomovesse com sentido oposto bastaria inverter o sentido de rotação dos dois motores.

Para que ROV muda sua posição angular é necessário que cada motor tenha um sentido de rotação, e assim provocando forças de sentidos opostos conforme a segunda parte da figura. Neste caso não se teria translação demonstrado pelo seguinte somatório de forças aplicado no centro de massa:

$$F_r = F - F \quad (4)$$

$$F_r = 0$$

Realizando o somatório de torques no centro de massa observa-se a existência de um binário dado por:

$$T_r = M + M \quad (5)$$

$$T_r = F \cdot \frac{d}{2} + F \cdot \frac{d}{2}$$

$$T_r = F \cdot d$$

$$T_r = 0,1 \cdot 0,2$$

$$T_r = 0,02 \text{ N}$$

O terceiro motor deveria realizar o movimento de translação vertical, e para tanto foi posto com sua hélice voltada para baixo. Entretanto havia dúvida quanto ao seu posicionamento transversal, porque não se sabia onde o centro de gravidade estava com precisão. Este foi então determinado empiricamente no tanque de testes impulsionando o ROV para baixo de forma que não causasse momento angular.

Para que a condição de equilíbrio ideal que as partes que oferecem empuxo devem ser posicionadas na parte superior, já as fontes de peso na inferior para que não se forme um binário capaz de girar o ROV sem intenção. Com isso o abrigo da câmera teve que ser posto apoiado sobre a estrutura e então fixado, e os fusos foram encaixados no interior dos tubos de PVC adicionando-se nove porcas de cada lado conforme a Fig. 16 a seguir:



Figura 16. Peso em porcas

Neste ROV preferiu-se pelo tipo de flutuabilidade neutra para que exigisse menos comando de motores e menos esforço na parte de programação para atingir a condição de equilíbrio estável. Com isso também se evitaria do robô descer fundo o bastante a ponto de tocar o solo levantando terra ao subir e dificultando a visualização.

Para análise do movimento vertical pesou-se o ROV com todos seus componentes obtendo um valor de 1,613Kg. Considerando os motores desligados fez-se então o seguinte somatório de força:

$$\Sigma F = 0 \quad (6)$$

$$Emp - P = 0$$

Assim os motores não necessitam de serem muito potentes, pois se necessita apenas de uma pequena força para vencer a resistência da água e começar a locomover.

4. PROJETO POSEIDON

4.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo é realizado o detalhamento dos sistemas e elementos constituintes do ROV Poseidon. A figura 17 contém uma ilustração do projeto conceitual, que envolve a construção de um protótipo em estrutura tubular de PVC confinada entre duas placas com função de proteção concebida pelo estudo de materiais compósitos. Para locomoção foram utilizados 6 propulsores, que possibilitam movimentação em todas as direções e rotações. Uma cápsula para abrigo da câmera e baterias foi criada para isolar da água estes constituintes, assim como outro compartimento de mesma função para abrigar os componentes eletrônicos. A figura 17 ilustra o projeto conceitual do veículo subaquático proposto.

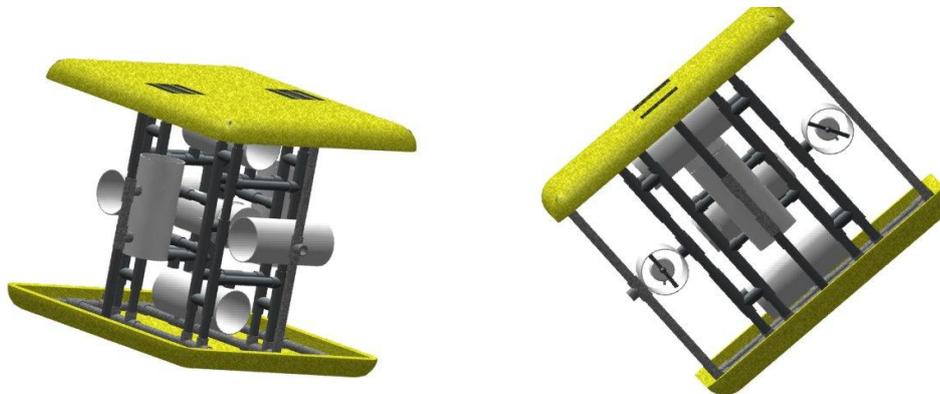


Figura 17. Ilustração do projeto conceitual do ROV Poseidon

No presente capítulo é realizado o detalhamento dos sistemas e elementos constituintes do ROV Poseidon.

4.2. PROJETO DINÂMICO

O projeto dinâmico do ROV proposto denominado “Poseidon”, está dividido em duas partes. A primeira é a configuração dinâmica do veículo no espaço, ou seja, definir quantos graus de liberdade ele terá, quantos propulsores, alocação de peso e empuxo e estabilidade. A segunda é o projeto dos propulsores, características técnicas dos motores, hélices, *fans* e encaixe na estrutura.

4.2.1. CONFIGURAÇÃO

O ROV Poseidon foi concebido para ser uma ferramenta de auxílio nas operações de busca e regaste no Lago Paranoá. Sua utilidade, inicialmente, é ser um veículo operado remotamente via cabo,

utilizando propulsores aquáticos para sua locomoção e uma câmera para transmissão em tempo real do ambiente/objeto observado.

Porém, o Poseidon também foi concebido como um sistema de introdução a controle subaquático, que requer um pouco mais de cuidado no quesito de estabilidade e hidrodinâmica da sua estrutura. Ele servirá como uma plataforma para futuros trabalhos de controle e navegação de desenvolvimento com parceria os alunos e professores da UnB e com o CBMDF. Com base nisso, foi predefinido que o ROV teria capacidade de suprir as necessidades da equipe de busca e resgate do CBMDF e também de fornecer dados para estudos relacionados a veículos subaquáticos ou similares em projetos futuros. Para tal, foi definido que o Poseidon será um ROV com 6 motores para atuar com os seis graus de liberdade possível no espaço tridimensional.

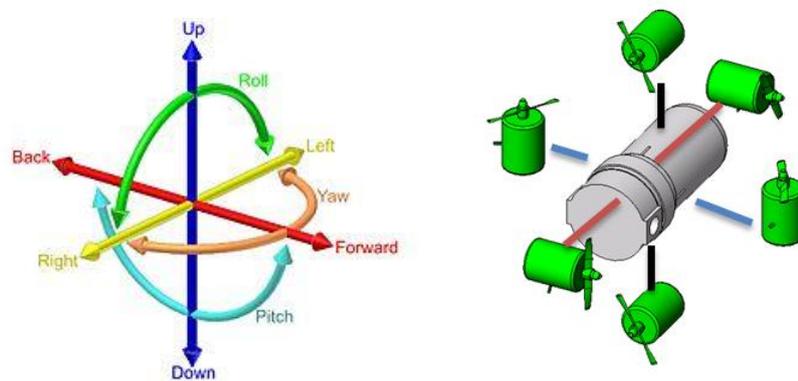


Figura 18. Graus de liberdade do ROV

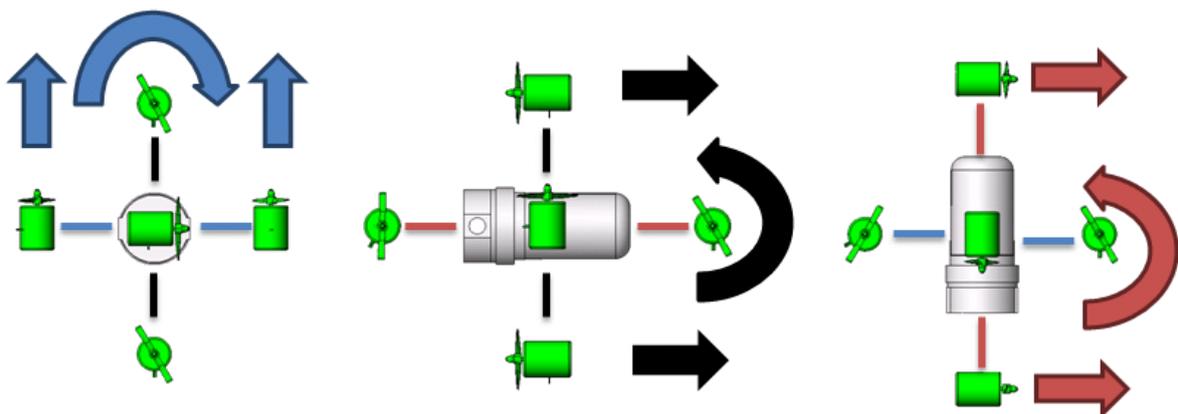


Figura 19. Posicionamento dos motores em relação ao CG

Considerando os três pares de propulsores do veículo Poseidon, cada par equidistante do CG, quando ambos os motores do par atuam em um sentido, o veículo é propulsionado para locomover-se naquele eixo. É possível inverter a rotação dos motores promovendo-se a locomoção no sentido oposto. Quando somente um motor do par atua ou quando um dos motores possui sentido inverso do outro, é gerado um vetor momento que rotaciona o ROV no eixo normal ao eixo de propulsão. Com os 3 pares, o Poseidon tem capacidade de se movimentar em qualquer grau ilustrado na Fig 18., aumentando sua versatilidade e controlabilidade nas operações/ensaios subaquáticos.

Com os graus de liberdade definidos, deverá ser estabelecida a configuração do Poseidon. Inicialmente avaliou-se as estruturas, configurações e dinâmicas de vários ROVs comerciais levantando-se as características da configuração mais comum.

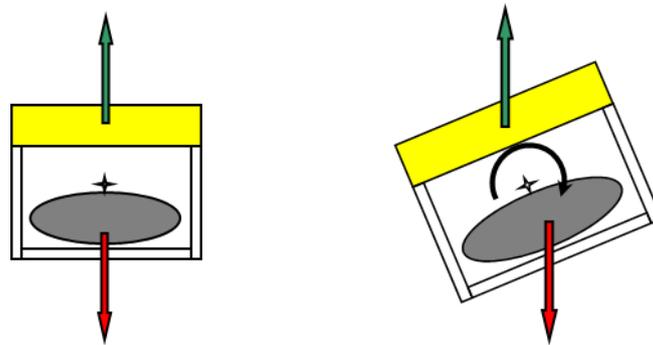


Figura 20. Configuração Convencional

Na figura 20 está ilustrado um ROV com estrutura paralelepipedal, onde seu centro de massa se encontra abaixo do centro de geométrico e seu centro de empuxo acima. Essa configuração permite uma estabilidade dinâmica quando o ROV exerce ou sofre qualquer perturbação do equilíbrio. O próprio sistema exerce um momento para retornar ao condição de estabilidade, agindo dinamicamente como um pêndulo. Porém, o Poseidon foi projetado para ter todos seus graus de liberdade em utilização, ou seja, que ele possa exercer as três locomoções e rotações no espaço tridimensional. Ele então necessita de uma configuração chamada 360°, que exige que seu centro de gravidade esteja alinhado com o centro de empuxo, como ilustrado na Fig.21.

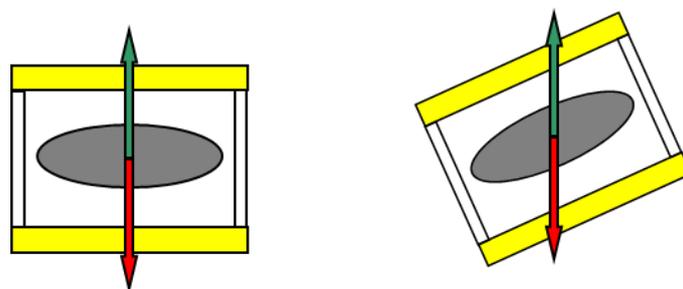


Figura 21. Configuração 360°

Essa configuração traz várias vantagens comparadas à configuração convencional mostrada na Fig.20, como:

- Estabilidade;
- Facilidade na realização de manobras;
- Imagem de alta qualidade em qualquer posição;
- Facilidade de operação – Treinamento mínimo requerido;
- Facilidade no acesso de locais estreitos e curvos facilitados;
- Facilidade de rastrear objetos e trajetórias pré-definidas.

4.2.2. PROPULSÃO

O projeto final do propulsor foi obtido após o aperfeiçoamento de 3 versões com base na construção e ensaios de protótipos deste sistema, mantendo-se os motores e as hélices selecionadas inicialmente. Esses elementos serão descritos separadamente, pois apresentam características importantes que afetam os outros sistemas, como a carga elétrica, potência, controle e empuxo do veículo. Posteriormente será apresentada a configuração e montagem de cada módulo propulsor e também as alterações realizadas até a versão atual, o módulo propulsor v.3.

4.2.2.1. MOTOR

Na escolha de um motor adequado para os requisitos de operação do veículo Poseidon, se buscou uma alternativa de motor elétrico oferecesse baixa manutenção, eficiente, de baixo custo e que possuísse torque suficiente em baixa velocidade, que é necessário para evitar perdas por cavitação e gerar empuxo para locomover o ROV. Nessa busca, a alternativa que melhor enquadrava era um motor *brushless* de baixo Kv. Esse motor não possui escovas, que implica uma alta eficiência, já que não há mais queda de tensão que existe nas escovas de um motor de corrente contínua convencional. Adicionalmente, como não há mais escovas, a velocidade terminal do motor é maior, pois não há barreiras mecânicas internas na construção, sendo só limitado pelo atrito dos mancais internos e do arrasto viscoso do rotor com o fluido que está imerso.

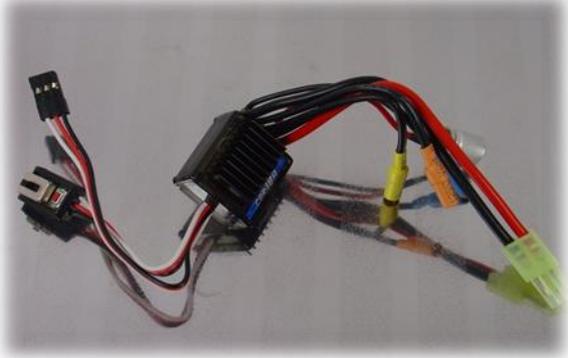
Então para a operação subaquática, foi selecionado um motor *brushless* de baixo índice Kv, ou seja com um menor razão rpm/potência, para impulsionar a hélice. O motor escolhido foi o *WayPoint* 2213-0760 com suas características descritas na Tab. 7. Os dados como corrente e empuxo do motor são apresentados no final dessa seção de propulsão. A potência da tabela foi calculada para uma tensão entorno de 12V, que é tensão da fonte do veículo.

Tabela 7. Especificações do Motor

WayPoint 2213-0760	
	
RPM/V (Kv)	760
Corrente Máx.	11A / 30s
Potência Operacional (no ar)	110W
Corrente Operacional	4 ~ 9A
Células LiPo indicado	2 ~ 3S
Peso	57 g
Dimensões	28.8 mm x 29 mm
Diâmetro do Eixo (Lado spinner)	5 mm
Motor <i>Outrunner</i> de 12 polos	

O motor W 2213-0760 é um motor trifásico, qual necessita para sua operação da utilização de um *Esc* (*Electronic Speed Control*), como o indicado na Tab. 8. O *Esc* dimensionado para esse motor foi o *Esc Turnigy Brushless CAR 18A* com reversível. Esse controlador de velocidade possui opção de reverter a rotação, por meio de troca de fases do motor interno no circuito. Ao aplicar um sinal PWM abaixo da faixa central, ele gira o motor no sentido contrário.

Tabela 8. Especificações do controlador de velocidade (*Esc*)

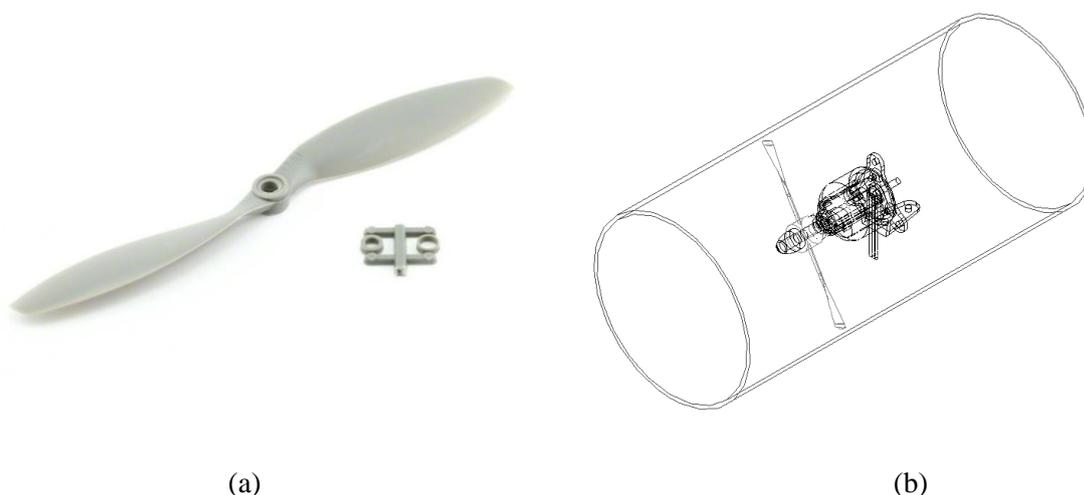
Esc Turnigy Brushless CAR 18A com reversível	
	
	
Corrente Máx. (Continua)	18 A
Corrente Máx. (Instantânea)	50 A
Resistência	0.001 ohm
Tensão de Trabalho	4V – 16 V
Células LiPo indicado	2 ~ 3S
BEC (Battery Eliminator Circuit)	Incluso para operações até 3S. Saída de 6V – 1A

Dimensões	31.5 x 24 x 15
Incluso sistema de proteção de superaquecimento: Corte aos 110° C	
Utiliza Curva de Controle de Velocidade padrão para motores <i>brushless</i> , com comando recebido via PWM 8KHz	

4.2.2.2. HÉLICE

A hélice para o propulsor foi uma escolha complicada, pois os parâmetros iniciais dados para o Poseidon são conflitantes com os parâmetros das hélices disponíveis no mercado. Normalmente, veículos náuticos utilizam hélices com perfil de médio camber/corda para proporcionar maior empuxo por rotação da hélice. Mas essa hélice não proporciona o mesmo empuxo no sentido contrario de rotação, pois o camber é projetado em somente um lado da hélice. Porém, é inconveniente para o sistema de controle navegar um ROV configuração 360° com uma hélice como descrito, pois terá que regular rotações diferentes para proporcionar empuxo similar nos sentidos opostos. Para tal sistema de controle, é conveniente ter uma hélice com perfil simétrico, como a NACA 0012¹, que proporciona o mesmo empuxo em ambos os sentidos. Mas esse tipo de hélice não é comercialmente disponível, pois sua aplicação é muito específica.

Para diminuir esse diferencial de rotação, foi selecionado uma hélice APC² 8" x 3,8 com perfil semi-simétrico, e de baixo passo, para girar com baixa velocidade, assim evitando efeitos de cavitação e de perda de eficiência da hélice em altas rotações/alto escoamento relativo. Essa hélice foi escolhida, pois era a menor hélice com menor passo disponível nos fornecedores locais, sendo a melhor alternativa para um propulsor subaquático.



¹ De maior espessura, uma vez que a baixa espessura ocasiona problema estrutural da pá em um fluido de trabalho denso como a água.

² APC(Advanced Precision Composite) Propellers é uma companhia de hélices de material compósitos para aeromodelismo. As hélices desse fabricante são numeradas como APC (comprimento da hélice de ponta a ponta, em polegadas) X (n° do passo da hélice). Vale ressaltar que uma hélice de baixo passo aumenta o empuxo, potência requerida e diminui a velocidade, que é o padrão utilizado em propulsão náutica.

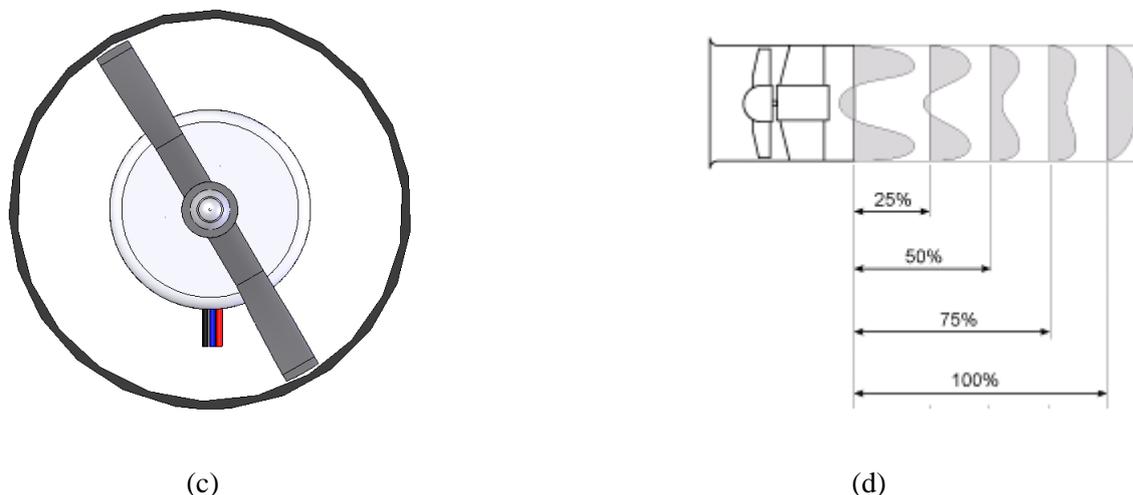


Figura 22. (a) Hélice APC 8 x 3,8 , (b) Esquemático do Propulsor em configuração *fan*, (c) Ilustração do corte e ajuste da hélice no interior do duto, (d) Uniformização do perfil de velocidade dentro de um *fan*

O material da hélice da APC é um compósito de fibras de vidro e matriz de nylon. É fabricada pelo processo de pultrusão, que garante uma proporção de fibras maior (60%) e confere uma elevada rigidez estrutural durante a rotação. É uma boa opção para utilização em um fluido mais denso que o ar e, comparado às hélices de concorrentes como GWS, possui boa resistência à flexão quando sujeito à carga rotativa elevada. Dessa forma, não ocorrem alterações significativas ao passo da hélice, mantendo desempenho projetado em qualquer rotação³.

O propulsor foi dimensionado para funcionar como um *fan*, ou seja, de forma que as pontas das hélices fiquem mais próximas da superfície interna do duto. Para a construção, é necessário cortar as pontas das asas (em torno de 52mm de cada ponta para que ele encaixe dentro do *fan*), lixá-las e o encaixá-las mais próximo ao duto e depois realiza o balanceamento das pás para minimizar a vibração durante a rotação. Este procedimento proporciona menores perdas durante a ocorrência da esteira de vórtices da hélice, pois minimiza a criação de vórtice de ponta de asa diminuindo o arrasto centrífugo de giro e concentrando o escoamento para sair com o perfil ilustrado na Fig.22(d). Esse escoamento depois passa por uma região de comprimento característico que uniformiza o perfil de velocidade de saída da hélice, garantindo um empuxo uniforme e com vetor alinhado com o eixo de rotação do motor, no centro do duto.

A base do desenho do aerofólio dominante da hélice APC é obtida dos perfis NACA 4412 e Clark-Y, com a exceção de que o bordo de fuga é um pouco baixo da linha da corda média dos citados. Além disso, a região traseira é um pouco mais espessa. Isto altera o ângulo de nula sustentação em aproximadamente 1° e proporciona maior CL, coeficiente de sustentação, sem ter que rodar a lâmina ainda mais.

A escolha de uma hélice bi-pá pode ser justificada pela razão desta aumentar o volume de escoamento propulsionado no sentido reverso do motor. Pela teoria de hélices de passo fixo [Carlson,

³ Informações da hélice retiradas do site do fabricante (<http://www.apcprop.com>, 2012).

2007], a vantagem de ter uma hélice de 3 ou 4 pás é para diminuir o diâmetro da hélice e aumentar eficiência de impulsão. Porém no caso deste projeto, é indicado que a hélice tenha um diâmetro maior para diminuir a perda de carga quando o escoamento passa por cima do encapsulamento, tendo maior volume desolado útil, como ilustrado na Fig. 23. Por outro lado, escolhendo uma hélice de 3 ou 4 pás do mesmo diâmetro para o propulsor haveria um pequeno ganho de eficiência, não justificável frente ao menor custo e facilidade de obtenção da hélice APC 8 x 3,8.

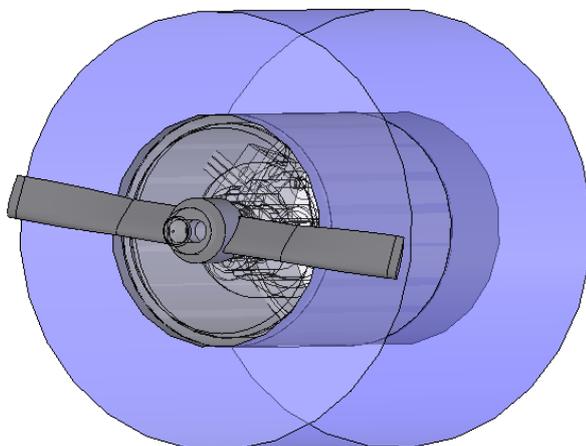


Figura 23. Volume efetivo de propulsão no módulo propulsor da primeira e segunda versão do projeto (v.1 e v.2)

4.2.2.3. MÓDULO PROPULSOR DA PRIMEIRA VERSÃO (V.1)

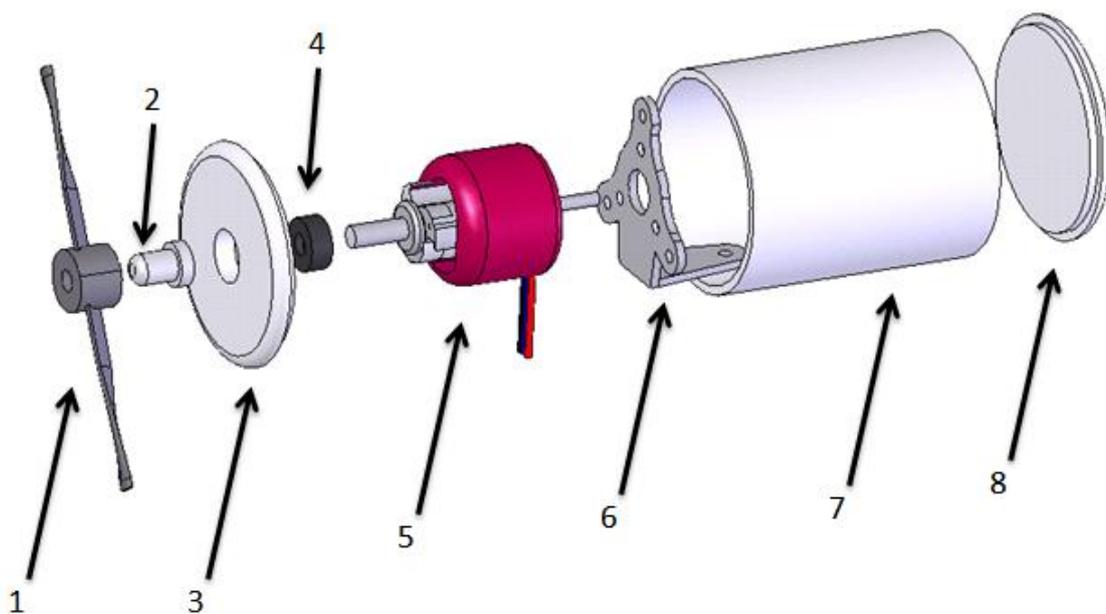


Figura 24. Componentes constituintes do módulo propulsor v.1

Tabela 9. Legenda dos componentes do módulo propulsor v.1

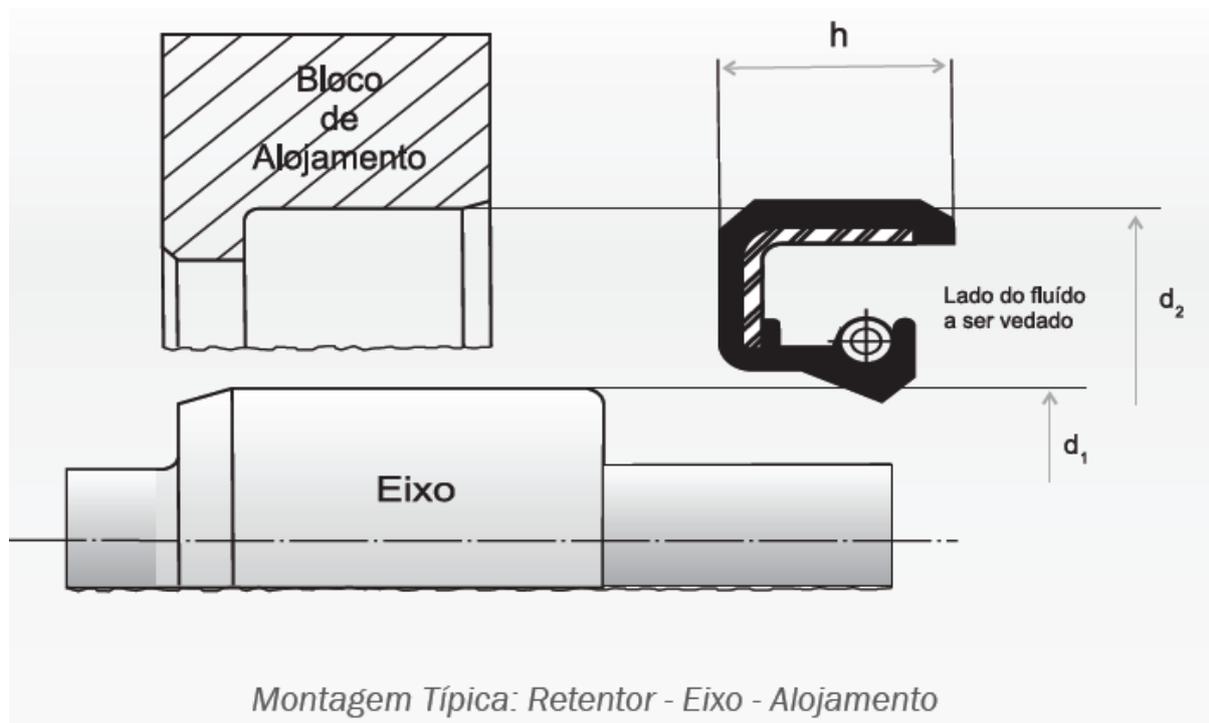
1	2	3	4	5	6	7	8
Hélice	<i>Spinner</i>	Tampa Fr.	Retentor	Motor	Suporte Motor 1	Envoltória PVC	Tampa Tr.

O módulo propulsor v.1 consiste na versão proposta na fase inicial do projeto, onde se faz a montagem de uma cápsula para o motor e qualquer circuito associado, para proteção contra a água. A envoltória é feita de um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro, no qual duas tampas, a frontal e traseira, usinadas de nylon industrial, enclausuram o motor e seu suporte. O suporte é centralizado por chapas de alumínio que garantem que o eixo do motor esteja concêntrico ao furo da tampa frontal e o suporte, então é fixado na envoltória por resina epóxi. Utiliza-se também a resina epóxi para fixar as tampas na envoltória e vedar qualquer furo ou fresta contra a ação da água. Para vedação do eixo de saída do motor utiliza-se um retentor. Porém, para o tamanho do motor, retentores convencionais, ditos de utensílios domésticos e automotivos, não tem o tamanho pequeno o suficiente para o motor em aplicação. Neste caso, foi encomendada a fabricação de 20 retentores VD – 2383 de precisão pela empresa Vedatec Vedações™, ilustrado na figura 25.

As características dos retentores estão descritas abaixo:

Tabela 10. Especificações do retentor

Diâmetro nominal		Altura(h)	Tipo	Código
Eixo (d1)	Alojamento (d2)			
5,00mm	12,00mm	5,00mm	GR	VD – 2383



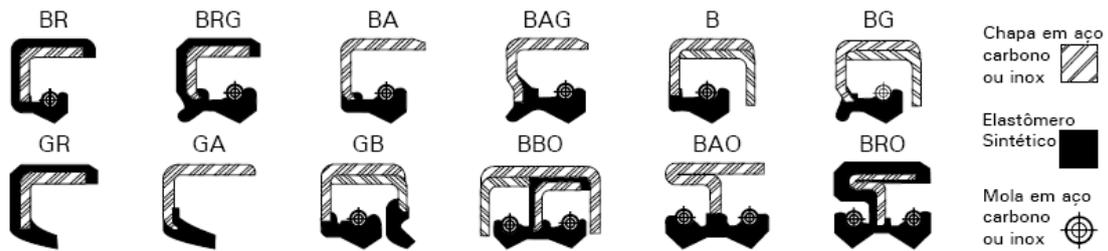


Figura 25. Esquemático de montagem do retentor e códigos dos variados tipos

Para centralização do módulo propulsivo no *fan*, fabricou-se uma bucha centralizadora feita de teflon, no qual se encaixa o módulo dentro e insere-o no *fan* de acordo com a Fig. 26. Com o módulo fixo, é possível prender as hastes de suporte do motor inicialmente feitas de varetas de fibra de carbono, mas por apresentarem dificuldades em aderência com a envoltória trocou-se por parafusos de 1/8” de aço carbono cromado.

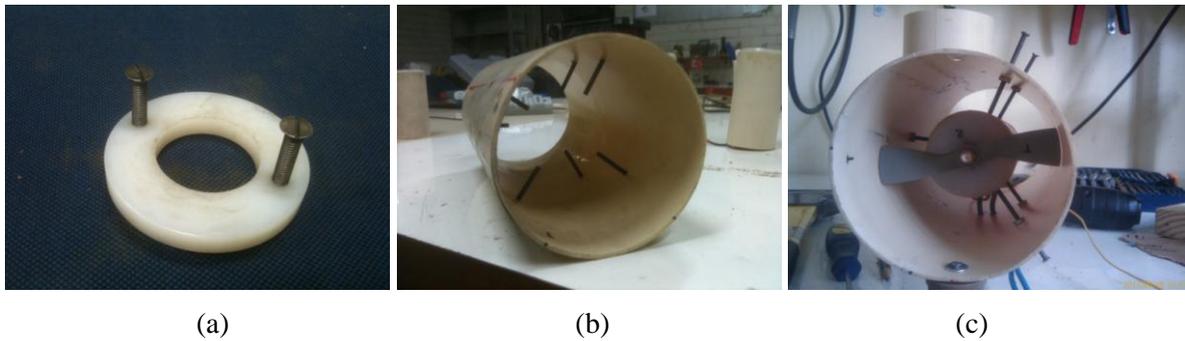


Figura 26. (a) Bucha centralizadora, (b) foto do *fan* com as hastes de suporte do módulo propulsor e (c) módulo propulsor v.1 montado com *fan*

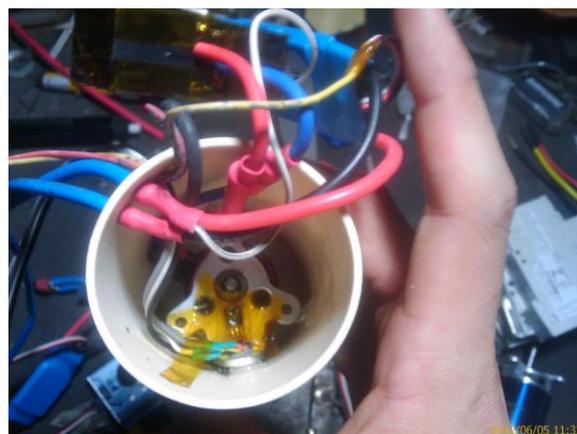


Figura 27. A inserção do sensor de temperatura no suporte do motor

Os problemas dessa configuração do módulo propulsor v.1 apareceram nos primeiros ensaios em ambiente aquático. O motor apresentou um grau elevado de aquecimento causado pelo efeito joule

da resistência interna das bobinas e do seu projeto. O motor, adequado para ser usado em aeromodelos e não veículos subaquáticos, foi projetado para utilizar o fluxo de ar ao propulsionar um aeromodelo para refrigerar as bobinas. No caso do módulo propulsor deste projeto, isso não ocorre, pois o motor está vedado e impede qualquer troca de calor, exceto pela envoltória de PVC. Pesquisando sobre o material, verificou que o coeficiente de condução do PVC usado é de $0,19 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$ ⁴ classificando esse material como péssimo condutor térmico e o que dificulta a troca de calor. Uma medição de temperatura da carcaça do motor foi feita fixando um termostor LM35 no suporte do motor conforme a Fig. 27, e isolando-o de outras trocas por convecção com fita Kapton™, uma fita de alta resistência a temperatura. O manual do fabricante, ele recomenda que a temperatura externa do motor, fixado no suporte não ultrapasse os $70 \text{ }^\circ\text{C}$. No entanto, na montagem realizada, isto pode implicar temperaturas suficientemente altas nas bobinas para derreter o verniz protetor e provocar um curto, queimando o motor. Utilizando o motor por 3min em uma bacia, em torno de 50% da potência efetiva, observou-se que o marco dos $70 \text{ }^\circ\text{C}$ foi ultrapassado (resultando queima do motor) e mostrando que o módulo propulsor necessita de um trocador de calor melhor, acarretando na nova envoltória de alumínio presente na segunda versão (v.2) do projeto do propulsor.

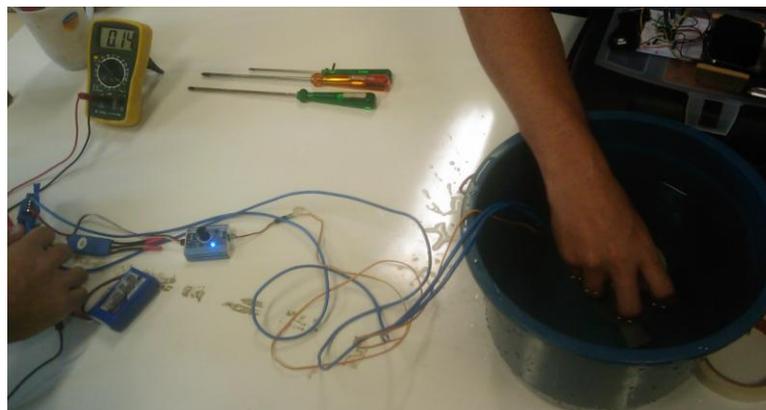


Figura 28. Ensaio de aquecimento interno do propulsor.

⁴ Dado retirado do site (<http://www.mspc.eng.br>, 2012)

4.2.2.4. MÓDULO PROPULSOR DA SEGUNDA VERSÃO (V.2)

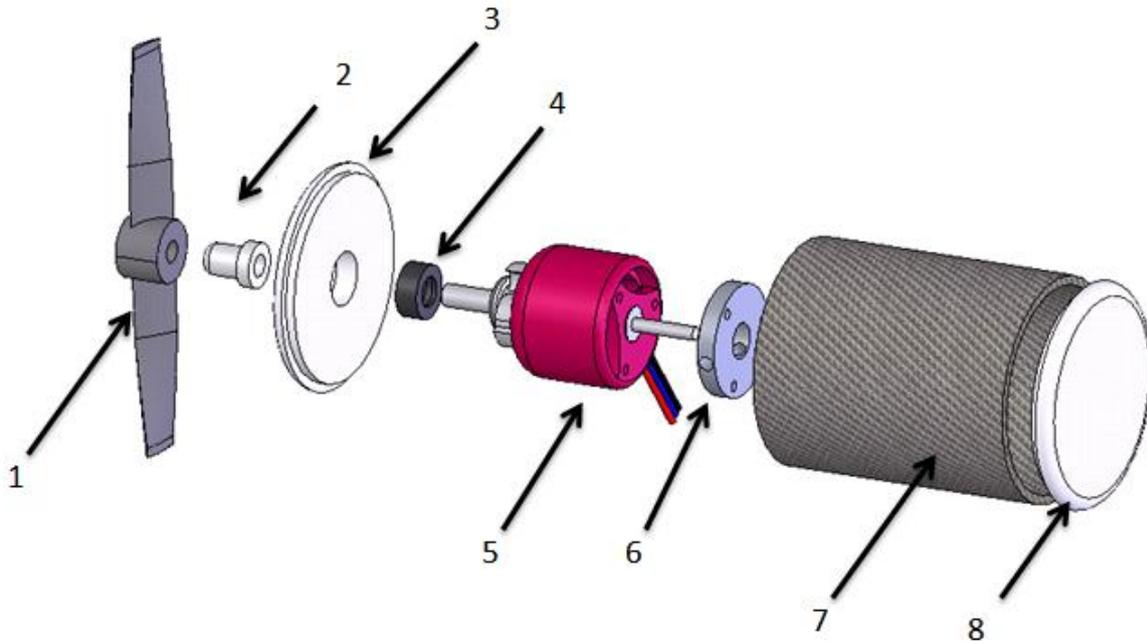


Figura 29. Componentes constituintes do módulo propulsor v.2

Tabela 11. Legenda dos Componentes do módulo propulsor v.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Hélice	<i>Spinner</i>	Tampa Fr.	Rententor	Motor	Suporte Motor 2	Envoltória Alumínio	Tampa Tr.

O módulo propulsor v.2 teve como propósito melhorar o projeto de troca de calor interno gerado pelo motor pela substituição da envoltória de PVC por alumínio puro, da série AA⁵ 1xxx. Esse material possui um coeficiente de condutividade térmica de 237 W/(m°C)⁶, aproximadamente 1250 vezes melhor condutor térmico que o PVC.

Além desse fator, o alumínio é um metal já oxidado e não oferece problemas de corrosão em longo prazo com sua utilização em ambientes aquáticos. Para melhorar ainda a troca de calor, foi realizado recartilhamento no torno, onde a superfície externa é conformada a frio em ranhuras losangonais. Isso aumenta consideravelmente a área de contato externo com o fluxo de água pelo *fan*, ilustrado na Fig. 30.

Também foi realizada uma mudança no suporte do motor, em razão da dificuldade de uma fixação do motor no modelo v.1. Como o empuxo do motor é a principal força e necessita ser transmitida para a estrutura de forma confiável, era necessário um novo modelo de suporte. Esse consiste em se parafusar o novo suporte na própria envoltória, tendo furo de 1/8 rosqueados com rosca fina feita pelas ferramentas macho e vira-macho manual. Os três parafusos de aço cromado garantem a transmissão de força para a envoltória, que fixada no *fan*, é transmitida à estrutura, conforme mostrado na Fig. 30.

⁵ Aluminum Association (AA)

⁶ Dado obtido do site (www.protolab.com.br/Condutividade_Termica.html , 2012).



Figura 30. Processo de recartilhamento da envoltória de alumínio e o novo suporte do motor.

Inicialmente, o módulo propulsor v.2 resolveu os problemas de transferência de calor provenientes da primeira versão. Porém, no teste de vedação a pressão o resultado não foi satisfatório. A vedação contra infiltração de água externa do módulo propulsor v.2 resistiu no teste da piscina, com pressão externa de aproximadamente 2 mca. No entanto, um dos requisitos de projeto estabelece que o ROV Poseidon opere a 40 mca, a profundidade máxima do Lago Paranoá. Para simular tais condições, utilizou-se a Autoclave, ilustrado na Fig. 31.

A autoclave mantém um ambiente com pressão interna relativa maior que a externa (atmosférica nesse caso) com auxílio de um compressor externo, que injeta ar comprimido. Um manômetro externo é utilizado para medir a pressão estática interna. Esse equipamento, muito usado na indústria de compósitos, foi modificado para atuar como uma hidroclave, contendo uma quantidade de água para simular condições de pressão no fundo do Lago Paranoá. O módulo propulsor é inserido na água e como ele possui uma quantidade de ar interna, ele tem um peso aparente menor e boia. Para mantê-lo dentro da água, utiliza-se uma grade retentora, feita de arame de aço carbono, a qual impede a subida do módulo durante o teste.

Foram executados três testes com valores de pressão de 2 bar(simulando aproximadamente 20mca), 4 bar(40mca) e 5 bar(50mca), durante uma hora sem qualquer equipamento eletrônico ligado, de acordo com a Tab.12. O peso do módulo foi medido anteriormente à sua inserção na autoclave.

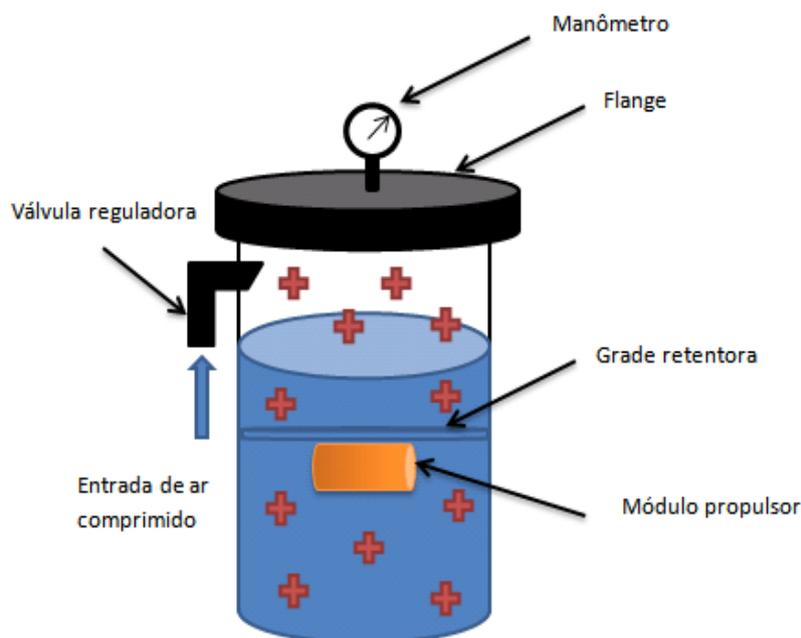


Figura 31. Esquemático da autoclave e a autoclave com compressor

Tabela 12. Tabela teste autoclave

Pressão	5 bar	4bar	2 bar
Peso anterior	250g	250g	250g
Peso posterior	293g	290g	255g

Os testes demonstraram que quando a pressão estiver muito alta, perto do limite de operação do ROV, a vedação cede e entra água dentro do módulo. O limite de pressão para vedação se situava pouco abaixo de 20 mca, pois neste valor já se observava água dentro do módulo. As dificuldades em se obter a vedação adequada para uma pressão de 40 mca, parâmetro de projeto para o veículo Poseidon, fizeram com que o retentor se tornasse um objeto de estudo importante. Pelo manual, não há especificação de uma pressão máxima que o retentor possa trabalhar, mas obtiveram-se informações de técnicos que utilizam esse produto, que este normalmente é usado a uma pressão de 40 cm de coluna de óleo, ou seja, pressão pouco acima de 1 bar. E somado a isso, o retentor não veda se o eixo do motor não tiver um nível de retificação tolerável, possibilitando a saída do óleo de dentro do motor. Isso não é um grande problema para sua aplicação usual, que é reter o óleo dentro do motor, pois qualquer saída de óleo necessita que se complete o nível manualmente. Mas para aplicação de um veículo subaquático, isso é inaceitável, pois a água poderá danificar os circuitos de controle interno do

propulsor. Então, sem o retentor, seria necessário reformular o projeto do propulsor, que deu a origem a sua terceira e atual versão, mostrada na Fig. 32.

4.2.2.5. MÓDULO PROPULSOR DA VERSÃO 3 (V.3)

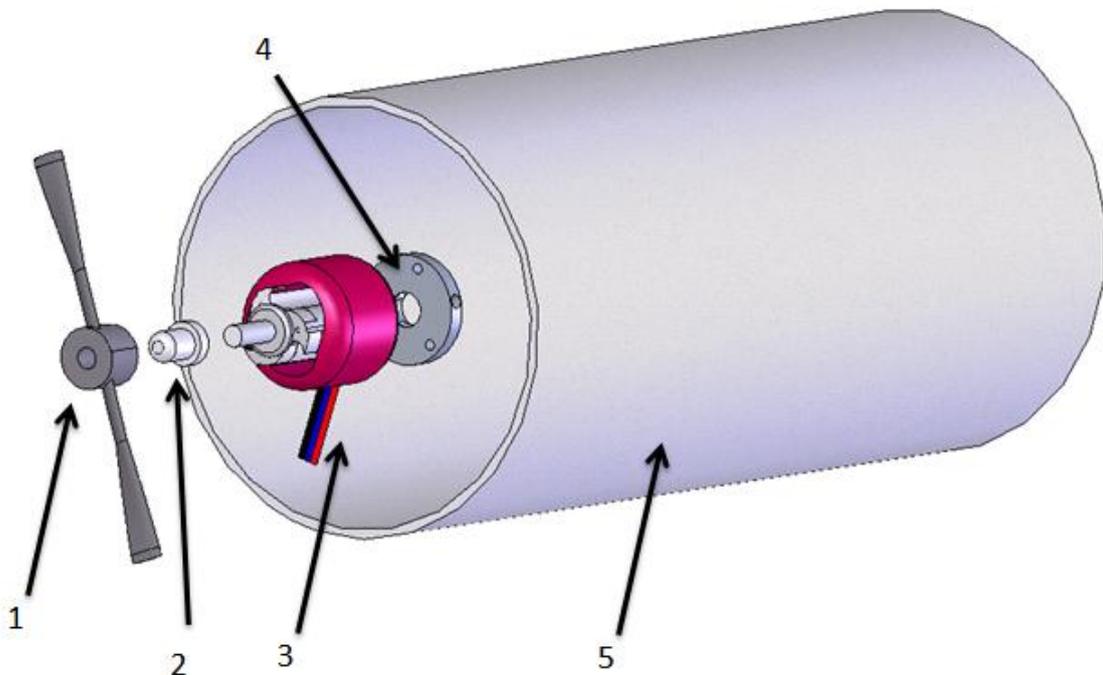


Figura 32. Componentes constituintes do módulo propulsor v.3

Tabela 13. Legenda dos componentes constituintes do módulo propulsor v.3

1	2	3	4	5
Hélice	<i>Spinner</i>	Motor	Suporte Motor 2	<i>Fan</i>

Pesquisando em muitos sites e fóruns de ROVs de exploração, a respeito de motores mais adequados, verificaram-se duas tendências: uma parte das informações envolviam motores resistentes a efeitos corrosivos da água, no qual esses atingiam profundidades maiores sem preocupação de esforços causados pelo grande diferencial de pressão; a outra parte envolvia motores de custos menores, porém necessitavam de um módulo para proteger o motor, e se limitavam a pressões menores. Como o objetivo de alcançar 40 mca, decidiu-se utilizar um motor brushless, com confiabilidade, imerso em água.

Nesse sentido, partiu-se para analisar os elementos que compõem o motor brushless: o estator, a carcaça externa com a circunferência de imas, o eixo, os rolamentos e as bobinas. Por análise e com

ajuda do manual da *Waypoint* e testes de material verificou-se que esses elementos possuem a seguinte composição:

Estató: Ferro doce envernizado;

- *Carcaça externa:* Alumínio anodizado;
- *Bucha dos ímãs:* Aço inox(tipo ferrítico);
- *Ímãs:* Neodímio(feitos por metalurgia do pó) com revestimento anticorrosivo;
- *Bobina:* Cobre esmaltado;
- *Rolamento:* Aço inox (tipo austenítico ou duplex);
- *Eixo:* Aço inox (tipo ferrítico).



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 33. Elementos constituintes do motor:(a) Carcaça externa e eixo, (b) Bucha dos ímãs e ímãs, (c) Estató, Bobina e rolamento frontal, (d) Rolamento traseiro.

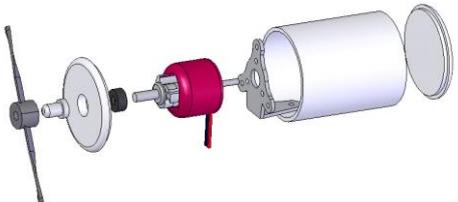
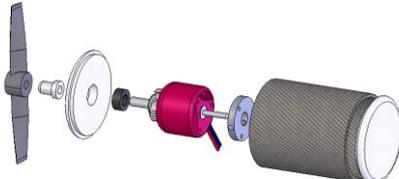
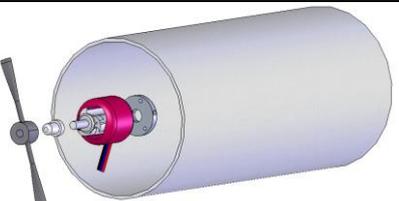
A *Waypoint* informa que esse motor, mesmo sendo projetado para uso exterior no ar seco, pode ser usado em ambientes úmidos ou com precipitação. Com base nessas informações e nos materiais utilizados na fabricação do motor decidiu-se utilizar o motor imerso como propulsor. Para que isso funcionasse, era necessário alocar os circuitos controladores de velocidade (*Escs*) para dentro do compartimento eletrônico (detalhado na seção 4.4.3) e fixar o suporte ao *fan*. Construiu-se um módulo propulsor v.3 e ensaiou-o na piscina e autoclave. Como ele não possui nenhum elemento de vedação, ele passou com sucesso nos dois testes, resistindo a pressão de 5 bar na autoclave. Os problemas de transferência de calor que ocorreram na primeira versão também foram resolvidos, pois agora ao acionar o motor existe um fluxo de água fria pelo estató, mantendo sua temperatura baixa. Isso trouxe uma nova vantagem, pois é possível agora tirar mais potência do motor, já que o limitador era a temperatura da bobina. Nos gráficos de carga do motor (apresentados na seção 4.2.2.7) é possível verificar que a potência limite do motor agora é aproximadamente 270 W, um acréscimo maior que o dobro da potência descrita no manual (110 W). O novo limitador de corrente, e conseqüente de potência, está na fiação e no controlador de velocidade.

Mesmo com as vantagens desse novo modelo, ainda existem defeitos de projeto que podem comprometer as funcionalidades do propulsor no Lago. Perto do fundo do Lago Paranoá, existe uma coluna de aproximadamente 1m de partículas suspensas, principalmente areia. Como no propulsor não existe mais a envoltória, essas partículas irão passar pelo fluxo dentro do estator, podendo comprometer seu giro e no pior cenário, desgastar as bobinas por efeito abrasivo. É interessante então inserir um filtro nos bocais do *fan*, para que possa regular o tamanho das partículas que entram e também, após cada missão verificar os propulsores e fazer uma limpeza para garantir a funcionalidade para próxima exploração.

4.2.2.6. RESUMO DAS VERSÕES DOS MÓDULOS PROPULSORES

Na Tabela 14 é realizado o resumo das configurações e os principais problemas de cada modelo até a versão atual do no ROV Poseidon. Os detalhes foram apresentados anteriormente sobre cada modelo.

Tabela 14. Comparação entre as versões dos módulos propulsores

Módulo Propulsor	Envoltória	Problema Principal	
V.1	PVC	Transferência de Calor	
V.2	Alumínio 1xxx	Vedação a pressão	
V.3	-	Entrada de partículas no fluxo	

4.2.2.7. CONSUMO E EMPUXO DO MÓDULO PROPULSOR V.3

Após definição da configuração final do módulo propulsor, ele foi ensaiado para determinar características elétricas, como consumo, carga máxima, queda de tensão, aquecimento do Esc e, o mais importante, a força de empuxo com a hélice escolhida. Para determinação das características

elétricas, utilizou-se o instrumento de medição Hyperion Emeter II com a unidade de aquisição de dados Hyperion RDU(*Remote Data Unit*), mostrada na Fig. 34.



Figura 34. Hyperion Emeter II com RDU

Inicialmente foi ensaiada a condição mais crítica do motor, no qual ele utiliza a potência máxima na água. O gráfico presente no Anexo I ilustra as curvas de tensão, amperagem e potência do motor durante o ensaio. É possível observar a queda de tensão no instante de pico, onde a potência demandada ultrapassa a carga que a alimentação possa fornecer nesse ensaio. O pico de corrente do motor é de 25 A, fornecendo uma potência máxima de 268 W nessa faixa de tensão.

Essa condição crítica com o motor sem resfriamento ultrapassaria a condições do motor e implicaria na queima das suas bobinas. No entanto, como existe um fluxo constante de água pelo estator, o motor não sofre aquecimento significativo. Então, observou-se a temperatura do controlador de velocidade. O *Esc*, descrito anteriormente, possui um dissipador acoplado na sua placa para melhorar a transferência de calor, porém é possível observar no gráfico do Anexo II que a taxa de aquecimento é bem maior que a taxa de dissipação, chegando no limite de 62.7 °C no dissipador, forçando do acionamento da proteção térmica do *Esc*, o que percebe-se pela queda brusca de corrente no gráfico. Quando o *Esc* chega em torno de 50 °C no dissipador, o *Esc* liga novamente (pode se perceber pelo pulso de corrente após a queda de corrente) e permite sua utilização.

Conhecendo-se a temperatura do *Esc*, que ocasiona corte de corrente, é necessário saber quanto tempo pode-se manter o motor em corrente operacional antes de haver o corte. Para operação de busca e manobras leves utiliza-se normalmente 30 W do propulsor, ou seja, aproximadamente 10% da potência total. O gráfico no Anexo III demonstra que mantendo essa potência, o *Esc* irá atingir a temperatura de corte de corrente após 4 min e 20 segundos. Esse tempo, normalmente não é ultrapassado para manobras pequenas, mas demonstra que o problema de dissipação e resfriamento do *Esc* é algo a ser notado e solucionado em trabalhos futuros. Todos esses ensaios foram feitos com o motor imerso na água, na configuração do módulo propulsor v.3 e o *Esc* dentro da cápsula de eletrônica, só com ar dentro da cápsula.

Para medição da força de empuxo, utilizou-se uma célula de carga proveniente de uma balança digital Kitchen Scale SF-400, com resolução de até 0,1 g e também um fio de fibra Dyneema™, que

apresenta mínima deformação, fixada no centro do propulsor. O sistema está ilustrado na Fig.35. O valor da força medida na condição de pico foi de 2,250 Kg de empuxo.



Figura 35. Elementos da medição de empuxo do propulsor

4.3. SISTEMA DE VISÃO

Essa seção irá apresentar o sistema de visão do ROV “Poseidon” e os componentes auxiliares, como cabo de transmissão, estrutura e vedação. O sistema de visão é um dos principais dispositivos do ROV, pois como o nome disse *Remote Operated Vehicle*, só é possível operar com confiabilidade se o sistema de visão estiver transmitindo com confiabilidade.

4.3.1. CÂMERA

A escolha da câmera foi um dos pontos cruciais do projeto do ROV “Poseidon”. O protótipo anterior “Watchbot” utilizou um webcam genérico com um extensor de 2 m USB para transmissão, ilustrado na Fig. 36. Já nesse protótipo é possível perceber que a câmera perde conexão em algumas ocasiões, que é um problema grave para um ROV com alcance maior. O protocolo USB 2.0, o qual a webcam utiliza, limita a transmissão sem realimentador para o máximo de 3 m, variando a confiabilidade pela qualidade do cabo extensor que tiver utilizando⁷. Uma solução utilizada alguns ROVs amadores é de utilizar um extensor USB- CAT5(que é descrito com mais detalhes na seção 4.6.3) para alcances de até 100m. O problema é que normalmente esses extensores transformam a transmissão de USB 2.0 *High Speed* de uma taxa de transmissão de 480 Mbps, em USB 1.1 *Full Speed* com um taxa de transmissão de 12 Mbps, ou seja, 40x menor, que compromete ou a qualidade ou o taxa de quadros captados por segundo, *frame rate*.

⁷ Informação retirado do site oficial do protocolo USB (<http://www.usb.org>, 2012)



Figura 36. Webcam, Extensor USB e Extensor USB-RJ45

Fugindo desses problemas, o projeto direcionou em buscar alternativas. O primeiro, mais comumente citado, é a utilização de uma câmera SD(*Standard Definition*) analógica com cabos coaxiais para transmissão à superfície, ilustrado na Fig. 37. Essa solução é o mais aplicado em ROVs de exploração, por ser uma opção barata e de fácil acesso. Câmeras SD de vigilância e modelismo estão disponíveis com facilidade pelo mercado a um baixo custo. O maior problema desse modelo é a perda excessiva da imagem pelos cabos. Como é um sistema analógico, a resistência dos cabos influencia na qualidade, e pela fórmula da resistividade dos cabos elétricos, quanto maior for o comprimento, maior será a resistência dando uma pior imagem no final. Somado a esse fator é a necessidade de uma tela dedicada com entrada de vídeo analógica, ou um conversor analógico USB para utilização no PC, que é um aspecto interessante para o projeto para economizar o gasto na compra e transporte de um monitor para as operações.

Qualidade de imagem é um aspecto prioritário para ROVs, pois o operador vai necessitar de uma imagem com a maior definição possível. No caso de um ROV de Busca, como o “Poseidon”, o operador está procurando objetos, e a capacidade de conseguir mostrar um detalhe minúsculo na tela pode poupar tempo, energia e conseqüentemente dinheiro. Para tal, pesquisou o sistema que oferecesse a melhor qualidade possível para transmissões a cabos longos. A opção era utilizar uma câmera SDI – HD(*High Definition*), que fornece imagens em 1080p30 ou 1080i60, a melhor no mercado⁸. A câmera SDI utiliza cabos coaxiais como a SD analógica, porém não sofre perdas, pois a transmissão é digital e em alta frequência, na ordem de 1.5 Gb/s, tendo alcances de 100m sem compactação e quilômetros com compactação. Para maior qualidade é necessário um monitor SDI para receber a imagem na superfície. Comparado ao sistema anterior, a qualidade foi resolvida utilizando o mesmo cabo de transmissão e trocando a tecnologia do monitor de superfície. O problema vem no custo; o sistema SDI é caro, ultrapassando o limite orçamentário para construção do protótipo, que implica que procurar uma nova alternativa de câmera para o projeto.

⁸ Informação retirada do site (<http://www.ssbrasil.com.br>, 2012)



Figura 37. Câmera SD analógica, Monitor dedicado e Câmera SPI

Utilizou-se então uma terceira opção: uma câmera IP, ilustrado na Fig. 38. Essas câmeras estão populares no mercado, pois são uma alternativa barata para montar um sistema de vigilância digital integrada. Elas utilizam cabos RJ45 para conexão para um switch que redireciona as imagens para um PC. Assim um software de vigilância mostra as imagens na tela que poderá ser acessado via internet através de um acesso ao IP do computador. A utilização de cabos rj45 simplifica a transmissão, pois esses cabos garantem uma transmissão de dados em torno de 300m sem apresentar perdas ou interferências de campos elétricos externos, além de que todo PC possui uma entrada rj45 na placa de rede, podendo visualizar a imagem direto sem necessidade de um monitor dedicado. Felizmente, existe no mercado câmeras ip que possuem resolução HD , que garante que o sistema de visão do ROV possui uma alta qualidade de visão para o operador. Como as outras câmeras, essa opção apresenta uma desvantagem: ela exige que processamento da imagem na entrada do PC, pois a imagem é codificada pelo protocolo h.264, causando um atraso na visualização. Dependendo do processador do computador que esteja recebendo a imagem, isso poderá ser alguns milissegundos a um período de segundos.



Figura 38. Câmera IP genérica e a DCS-2230

Visto essas alternativas, decidi utilizar uma câmera IP, especificamente o modelo D-Link DCS-2230, por apresentar resolução HD com tela 1280 x 720 @ 30fps e por possuir um sensor CMOS com dimensão de 1/2.7", acima do normal do mercado. O cabo utilizado para transmissão é

um cabo CAT6, qual possui uma taxa de transmissão de 500 Mbps, maior que o CAT5e convencional e melhor para a transmissão da câmera IP.

4.4. ESTRUTURA

4.4.1. GEOMETRIAS

Nesta seção serão estudados os formatos e materiais geralmente empregados nas estruturas de ROVs que a princípio se apresentarem mais convenientes para posterior escolha daquela que melhor se adéqua à proposta função do mesmo.

Estruturas de ROVs são normalmente submetidas a elevadas pressões externas devido à grande coluna de água que existe sobre este, sendo necessário que se pense em uma geometria que seja eficiente para suportar elevadas tensões.

As estruturas que suportam elevadas pressões são comumente constituídas de finas paredes curvas preferencialmente em formato esférico, porém na construção muitas outras variáveis de projeto como a manobrabilidade são levadas em consideração além da eficiência estrutural. Faz-se então também necessário analisar a viabilidade de outras geometrias como a cilíndrica que ofereceria a possibilidade de acomodar melhor elementos de comando juntamente com a câmera. A seguir serão analisadas as geometrias mais favoráveis:

4.4.1.1. ESFÉRICA

Esta estrutura apesar do nome não é completamente esférica em veículos subaquáticos, pois para se melhorar a hidrodinâmica normalmente se coloca um invólucro partindo do meio da esfera, ilustrado na Fig. 39, e formando uma volta mais aguda na parte de trás. Esta por ser invadida por água pode ser construída de material mais fino por estar submetida somente a forças hidrostáticas, enquanto a semi-esfera possui forças hidrodinâmicas precisando, portanto ser melhor reforçada para suportar estes esforços devido ao movimento, conforme esquema ilustrado a seguir.

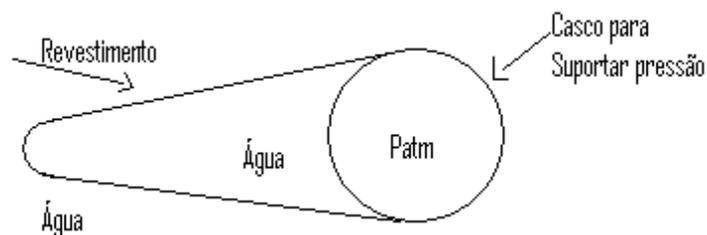


Figura 39. Vaso de pressão esférico com hidrofólio

Quando submetido à pressão uniforme externa tal geometria comumente falha por deformação axissimétrica ou por flambagem, que estão intimamente ligados a fatores como espessura que deve ser calculada a partir da relação entre o raio e as propriedades do material empregado. Deve-se também e atentar-se para o processo de fabricação, ou até mesmo a escolha da qualidade da superfície do

material empregado para que não venham a gerar imperfeições na geometria esférica, pois caso ocorra, a tensão mínima para flambagem reduz bastante e seu cálculo se torna mais complexo.

Considerando a geometria quase perfeitamente esférica pode-se usar a Eq.7 (Kóllar, 1984) , para se obter a pressão crítica limite na qual o casco pode ficar submetido, já sabendo o material a ser empregado.

$$P_{cr} = \frac{1,16 \cdot E \cdot t^2}{(1 - \nu^2)^{1/2} \cdot R^2} \quad (7)$$

4.4.1.2. CILÍNDRICA OU CÔNICA

Esta é a forma mais comumente utilizada em veículos subaquáticos, podendo haver pequenas modificações nesta para deixá-lo hidrodinâmico. Assim como no caso da estrutura esférica, esta geometria também pode vir a falhar por deformação axissimétrica ou flambagem, sendo que a pressão requerida para causar instabilidade no casco desta estrutura é obtida por uma pequena fração daquela para levar à deformação axissimétrica. Este formato não se mostra muito eficiente quando submetido a elevadas pressões caso seja muito comprido, devendo neste caso serem colocados anéis internos (*ring stiffeners*) rígidos ao longo do comprimento para tentar corrigir este problema. Outra maneira de reforçar a estrutura também pode ser feita utilizando-se anteparas(*bulkhead*), internas ou não, que fornecem adicionalmente meios para isolar compartimentos danificados caso ocorram acidentes no vaso de pressão(*pressure hull*).

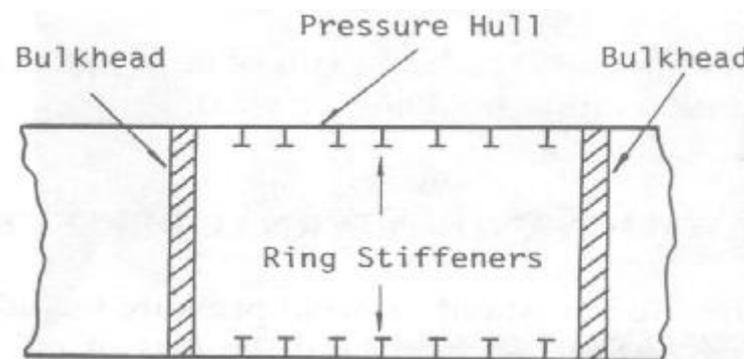


Figura 40. Geometria Cilíndrica

Deve-se observar que qualquer imperfeição nesta geometria também favorece bastante a flambagem, devendo então ter muito cuidado na construção para que a única possibilidade de falha seja por deformação axissimétrica, que se mostra muito mais confiável por ter seus resultados práticos mais próximos à teoria.

Normalmente se pensa que as extremidades de veículos tem o formato curvo devido somente a hidrodinâmica, quando na verdade nas extremidades de cilindros são colocadas bases curvas para melhor resistirem à pressão, pois placas planas não possuem curvatura meridional fletindo com maior facilidade. Caso placas planas fossem usadas suas espessuras deveriam ser muito maiores que da região lateral do cilindro, e por economia de peso e espaço tais não são preferíveis.

As observações feitas a seguir foram pesquisadas segundo citações de C.T.F, Ross (1990), para saber o comportamento de vasos submetidos à pressão, e então prever o comportamento e a pressão máxima suportada de diferente geometrias antes de empregá-las.

A flambagem do formato cilíndrico deve ser analisada nas direções radial e meridional. Experimentos apontam que quando há compressões radiais pequenas ondas locais são formadas, gerando flambagem com padrão reticulado que hora se deforma para dentro e hora para fora. Já quando existem compressões em suas bases que atinjam o valor crítico o casco flamba com ondas longitudinais repetidas simetricamente em torno de todo cilindro, conforme representado na Figura 41:

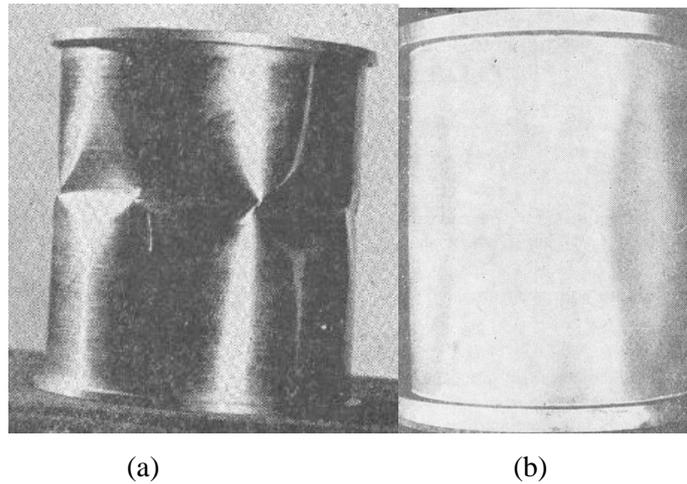


Figura 41. Teste de deformação. (a) Pressão radial. (b) Pressão aplicada às bases

Observa-se que quanto maior o comprimento do cilindro maior a onda formada devido ao fato do enrijecimento por flexão decair com o tamanho desta geometria. Já se o cilindro é muito pequeno nota-se que este deforma como uma placa plana.

Para cilindros curtos a pressão crítica ao qual este suporta é dada por:

$$P_{cr} = \frac{2,42 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot a}\right)^{5/2}}{(1 - \nu^2)^{0,75} \cdot \left[\frac{l}{2 \cdot a} - 0,447 \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot a}\right)^{\frac{1}{2}}\right]} \quad (8)$$

$$l > 4,9 \cdot a \cdot \left(\frac{a}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \quad e \quad \frac{a}{t} > 10 \quad (9)$$

$$P_{cr} = E \cdot \frac{\left(\frac{t}{a}\right)^3}{4 \cdot (1 - \nu^2)} \quad (10)$$

4.4.2. MATERIAL

Para escolha do material empregado buscou-se para as partes que estariam submetidas a elevadas pressões dinâmicas e que protegeriam os componentes eletrônicos do ROV aquele que melhor combinasse leveza; elevado grau de resistência mecânica; praticidade de produção, ou se possível seleção de um no mercado com a geometria estipulada.

Materiais metálicos com suas ligas foram descartados, pois se apresentaram muito pesados ou caros, já os tubos de alumínio talvez trouxessem as características pretendidas. Porém pesquisas daqueles materiais que são mais utilizados para suportar pressões hidrodinâmicas moderadas com o benefício de baixo custo apontaram para o PCV (policloreto de vinil) como um termoplástico melhor indicado com alta versatilidade e variedade de dimensões disponíveis.

Uma pesquisa mais detalhada foi então realizada para investigar as propriedades do PVC (cloreto de polivinila) e verificar se este se enquadraria realmente dentro dos requisitos necessários para construção.

Observou-se então que existem inúmeras formulações, porém a mais empregada pela indústria com ampla comercialização são de alta rigidez e duros. Suas propriedades são de relevância considerável para produção de estruturas aquáticas como: boa resistência á corrosão e oxidação mesmo em presença de diversos produtos químicos; baixa absorção de umidade; pode ser soldado, colado, moldado, usinado; baixo custo; boa isolamento térmica e elétrica, assim como elevada resistência a intempéries. São normalmente atacados por aromáticos; cetonas; acrilatos ésteres; aldeídos; aftalenos; alguns cloretos e acetatos, mas nada indicando grande risco para atual aplicação. Assim como também suas contra indicações de: não poderem ser utilizados em uso contínuo acima de 60°C; oferecerem baixa resistência ao impacto; e tornar-se quebradiço quando ressecado não oferecerem o menor problema segundo as faixas de operação a qual o ROV estará submetido.

Outra seleção importante de material foi feita nas partes que envolvem o ROV, procurando neste caso material que fornecesse bom acabamento, possibilitando a aplicação do design hidrodinâmico pretendido e garantisse a leveza do protótipo. Em orçamento inicial pensou-se em chapas de aço finas, entretanto estas partes garantem uma boa apresentação inicial do produto e este material não traria a confiança inicial que se estaria buscando. Optou-se então por maior investimento financeiro e de tempo para construção de um envoltório adequado.

Escolheu-se então pela busca de materiais compósitos devido a sua alta rigidez e maior facilidade em fazer moldes e criação de peças de geometrias complexas exatamente iguais aquelas idealizadas. Tem-se boa confiabilidade e prática com estes materiais devido a experiências anteriores do grupo gerando confiabilidade para a próxima etapa de seleção da fibra.

Materiais compósitos em geral trazem ótimas qualidades mecânicas e nesta etapa de construção, que não abrigará nenhum componente eletrônico, não requer rigidez exageradamente elevadas, podendo-se optar por uma fibra mais simples que o carbono por exemplo. Esta parte do

ROV (carcaça) teria função mecânica de suportar impactos em colisões no fundo do lago ou em objetos presentes neste, logo se optou pela fibra de vidro com resina epóxi que possui alta resistência mecânica, facilidade de moldagem e resistência de corrosão da água, propícia para uma longa vida do protótipo.

4.4.3. COMPARTIMENTO ELETRÔNICO

Segundo as pesquisas realizadas a geometria esférica traria grande dificuldade de construção, pois não se encontra facilmente fabricantes ou fornecedores de materiais esféricos e transparentes. Como pequenas imperfeições fariam com que a tensão crítica diminuísse muito seu valor, a tolerância para fabricação da peça teria que ser muito pequena aumentando muito os custos de fabricação. Ter-se-ia também maior dificuldade para realizar manutenção dos elementos que a esfera abriga devido à maior dificuldade na desmontagem.

Já o cilindro por ter dimensões pequenas não teria alto grau de flambagem na direção axial tornando até mesmo dispensáveis os anéis ou anteparas. Esta geometria é muito comum no mercado podendo-se escolher entre vários materiais diferentes disponíveis a pronta entrega, tornando também mais fácil a replicação do ROV . O mercado também oferece o cilindro com bom nível de tolerância tornando desprezível o efeito de flambagem devido a imperfeições. Logo tal geometria se mostra mais confiável e imensamente mais prática devendo então ser empregada.

Definida a geometria investigou-se se esta juntamente com o material de PVC seria capaz de suportar elevadas pressões e chegar a grandes profundidades. Para realizar esta verificação utilizou-se a fórmula de pressão crítica anteriormente mencionada nas pesquisas para o caso cilíndrico.

$$P_{cr} = \frac{2,42 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot a}\right)^{5/2}}{(1 - \nu^2)^{0,75} \cdot \left[\frac{l}{2 \cdot a} - 0,447 \cdot \left(\frac{t}{2 \cdot a}\right)^{\frac{1}{2}}\right]} \quad (11)$$

Com os seguintes dados do PVC:

$E=2,8\text{Gpa}$; $\nu =0,4$; $t=6\text{mm}$; $a =60\text{mm}$; $l =250\text{mm}$, aplicados ao programa EES, obteve-se o seguinte resultado:

$$P_{cr} = 1,48 \cdot \frac{10^6}{m^2} N \quad (12)$$

Com a pressão crítica se pode saber a profundidade máxima o qual o robô poderá chegar através de:

$$\Sigma P = \rho \cdot g \cdot h \quad (13)$$

Com a massa específica da água: $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$

Gravidade da terra: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$P_l + P_{atm} = \rho \cdot g \cdot h \quad (14)$$

$$P_{cr} = \rho \cdot g \cdot h \quad (15)$$

Encontrando uma altura de líquido máxima de 161,2m de profundidade confirmando que a geometria e os materiais escolhidos suprem as necessidades de projeto, pois para uso em regiões próximas do DF, não chegaria a oferecer riscos á estrutura segundo profundidade máxima local.

Como o vaso de pressão principal, ilustrado na Figura 42, oferece relativa segurança contra falha e infiltrações (pois sua tampa é roscada, com frisos inclusos com *O-rings* para garantir vedação sob aperto), ele foi escolhido como o compartimento eletrônico do ROV. É nele que os principais componentes eletrônicos e sistemas irão ficar embarcado no centro geométrico do ROV. Existem duas conexões de fixação entre a estrutura e o compartimento, nas laterais da tampa. É por esse ponto que passarão os cabos de interligação entre o sistema de propulsão e os propulsores. Haverá necessidade de vedação nesse ponto, porém, como é vedação estática(sem elementos giratórios), adesivo isolantes como Silicone ou resina epóxi serão usados. A geometria do compartimento está ilustrada abaixo:

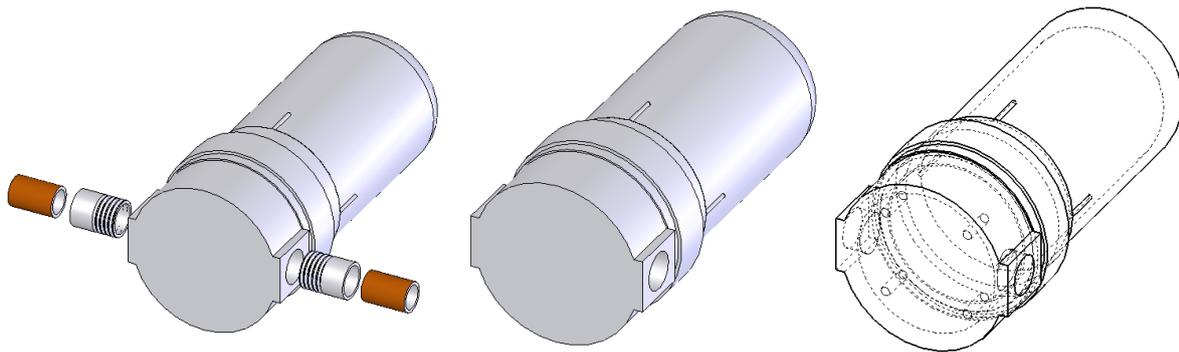


Figura 42. Compartimento eletrônico

O restante da estrutura do Poseidon foi construído com elementos de encanamento/hidráulica de PVC comercial. A escolha para esses elementos foi definido para a facilidade de construção, usinagem, resistência e montagem, características presentes no ultimo protótipo WatchBot. A estrutura do ROV é dividido em 3 principais componentes: Tampa de Proteção, Estrutura Superior/Inferior e Estrutura principal. Eles estão ilustrados separadamente na Figura 43 e em conjunto na Figura 44:

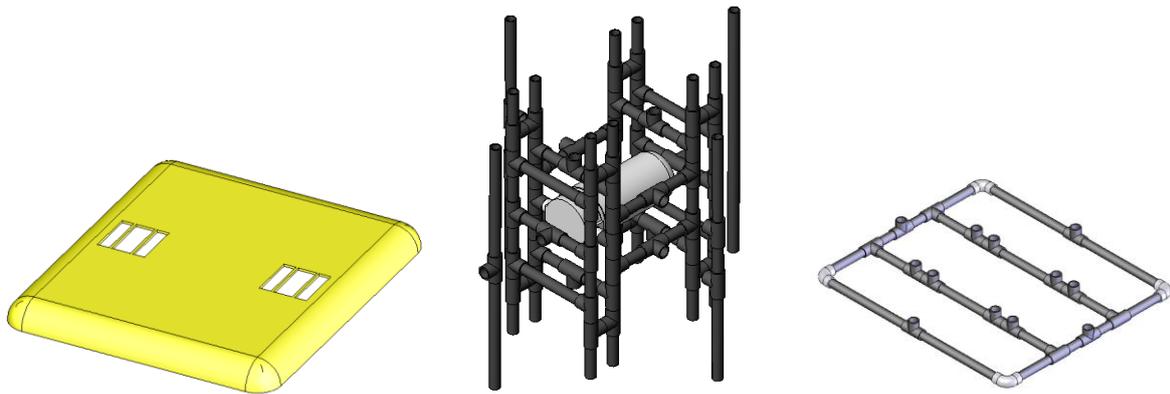


Figura 43. Os 3 principais elementos estruturais: (a) Tampa de Proteção, (b) Estrutura Superior/Inferior, (c) Estrutura Principal

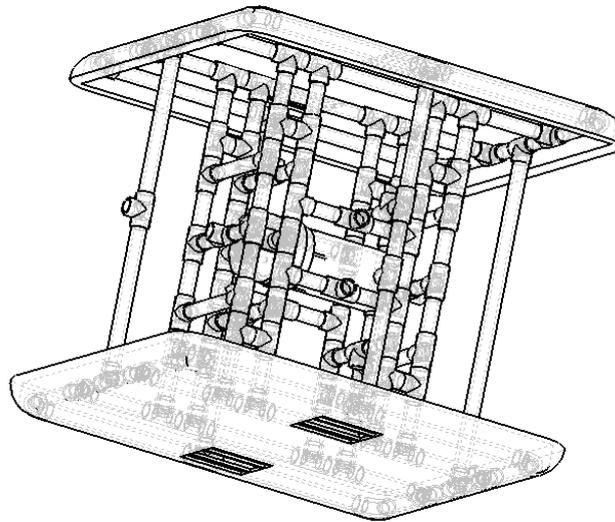


Figura 44. Componente Estrutural Montado

Utilizando elementos de encaimento em PVC auxiliou para que a estrutura do ROV tenha uma montagem e manutenção rápida, pois como esses elementos são projetados para encaixarem sobre pressão para manter rigidez e facilitar soldagem dos canos nas juntas “joelho” e “T”, eles são ideias para a construção do protótipo com confiabilidade do seu uso aquático e estrutural. As plantas de montagem de cada componente estrutural e sua lista de material estão no anexo em Plantas de Projeto do ROV Poseidon.

4.4.4. TESTES DO COMPARTIMENTO DE PRESSÃO

Diversos testes foram realizados para verificar se os compartimentos seriam ao mesmo tempo capazes de suportarem a pressão de 4 bar sem falhar e ainda estariam vedados o bastante para impedir que a menor fração de água pudesse atravessar o compartimento.

Foi verificado primeiramente se as equações apresentadas para cálculo de pressão nas superfícies lateral do cilindro (Eq.11, pg 49) estavam condizentes com a realidade através de um vaso de pressão de 250 mm de comprimento por 60 mm de raio e espessura de 2 mm; dados do PVC com

Poisson de 0,4 e módulo de elasticidade de 2,8 GPa. Segundo a teoria aplicada ao programa EES cálculo dos parâmetros o vaso deveria suportar no máximo 1,36bar.

Foi realizado então um experimento na autoclave submergindo o cilindro em água dentro da mesma aumentando-se gradativamente a pressão, e verificou-se com clareza que a estrutura foi capaz de suportar a pressão de um bar, porém próximo a 1,5 bar foi observado ruído indicativo de colapso da estrutura. Retirando-se da autoclave constatou-se a observação ilustrada na Figura 45. Teste de validação:



Figura 45. Teste de validação

A análise indica ainda que a região crítica se encontra mesmo para a superfície lateral do cilindro confirmando os resultados da aplicação da Eq.11(pg 49) para esta região e fornecendo credibilidade aos números apresentados por esta.

Verificou-se se sua confiabilidade contra infiltrações estava sendo confirmada ao se perfurar a estrutura com intuito de alimentar o circuito presente em seu interior. Para vedação dos furos atravessados por cabos utilizou-se resina epóxi.

Para segurança contra entrada de água no compartimento, danificando o Arduino ao se inserir pressão externa, preferiu-se pela inserção de pressão interna através de um compressor conectado a estrutura, e se verificaria a presença ou não de bolhas. O ensaio está ilustrado na Figura 46. Teste de vedação



Figura 46. Teste de vedação

Conforme indicado na Figura 46. Teste de vedação, a estrutura não se mostrou capaz de ser vedada somente com uso de epóxi. Ainda com intuito de se utilizar a mesma estrutura buscou-se por outros meios de vedação como cianoacrilato e massa plástica, não chegando ainda assim a resultado positivo.

Como já tinham sido feitas muitas tentativas e então dificultando a construção desta cápsula pelo uso de muitos materiais diferentes concluiu-se que seria melhor abandonar o projeto inicial e buscar por outra solução mais objetiva. Com o estudo de outras bibliografias de ROV notou-se, conforme fórum *OpenROV*⁹, que normalmente se utiliza conexões do tipo banana/bullet para transmissão de potência, Figura 47 (a), e conector DIN metálico para transmissão de dados, Figura 47 (b), fazendo-se desnecessária a travessia completa do cabo pela estrutura. No interior do cilindro se utilizou uma camada de aproximadamente 20 mm de epóxi para se vedar os bullets e o DIN. Testes posteriores apontaram o resultado positivo deste projeto concluindo esta etapa.



Figura 47. (a) Tampa com conexões bullets e (b) DIN metálico

Analisou-se por fim o quanto o atual compartimento seria capaz de suportar de pressão e a que profundidade máxima poderia chegar. Através das fórmulas anteriormente apresentadas para vasos de pressão e para cálculo de profundidade máxima aplicadas ao programa EES com os dados do novo cano empregado de raio igual a 37,5 mm, comprimento de 500 mm, espessura de 4,2 mm, Poisson de 0,4. Obteve-se então valor de pressão crítica de 873517 N/m² e uma profundidade máxima suportável de 99,37 m, valor muito acima do requisitado de 40m, portanto o cano utilizado se demonstrou plausível teoricamente.

⁹ Site www.openrov.com

4.4.5. CÁPSULA DA CÂMERA E BATERIA

Um abrigo para a câmera do ROV fez-se necessário devido à incapacidade de suportar elevadas pressões de câmeras submersíveis. Aproveitou-se também abrigar neste mesmo invólucro o banco de baterias internas do robô para que não fosse criado mais outro elemento aumentando assim desnecessariamente mais um compartimento. Seu projeto foi feito em SolidWorks conforme na Figura 48:

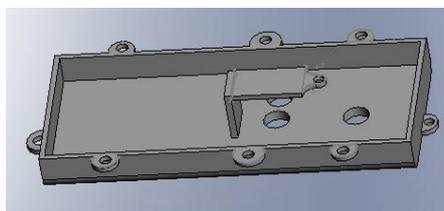


Figura 48. Vista Interna da Cápsula

O banco de baterias interno, apesar de aumentar o peso do ROV e assim solicitar mais dos propulsores, teve que ser feito, pois testes mostram a inviabilidade de se chegar corrente elétrica suficiente para alimentar os motores devido à elevada resistência elétrica dos cabos que tem comprimento de aproximadamente 20 metros no teste realizado. Enquanto os motores necessitavam de 25 ampères para desprenderem sua potência máxima em baixo d'água a alimentação externa por bateria automotiva de 12 volts somente se mostrou capaz de fornecer menos de 1 ampère aos motores depois de percorridos os 20 metros de cabo, tornando a potência insuficiente para se quer rotacionar o ROV.

Um projeto inicial foi feito no programa SolidWorks para predizer as dimensões e como seria o sistema de vedação particular deste. Pensou-se em criá-lo por duas partes simétricas que seriam vedadas através de seis parafusos e borracha que estaria na junção impedindo que eventuais imperfeições deixassem que a água pudesse entrar no compartimento gerado. Foi pensado também em três furos passantes que deixariam à mostra para o lado externo a lente da filmadora, o infravermelho, e o emissor wireless para que se tivesse disponível todos os recursos da câmera caso necessário. Também foi pensado em um suporte que fixaria a câmera através de parafuso e espaço inferior que abrigaria as baterias. Na parte de topo e base estariam arranjos para fixação na estrutura parafusados.

Para escolha do material a ser empregado foi cogitado primeiramente o uso de PVC como nos demais elementos, porém o mercado não oferece uma estrutura onde pudesse ser colocada a câmera em tampa plana de dimensões equivalentes à mesma. Buscou-se então no SG-09 por algum material resistente que viabilizasse a fabricação anteriormente projetada da estrutura. Encontrou-se então disponível chapas de aço de 5 mm de espessura que certamente suportariam a pressão requerida, entretanto fornecendo peso adicional significativo ao ROV. Para solucionar este impasse pensou-se na utilização futura de material de baixa densidade envolto à cápsula para anular seu peso.

Após a soldagem com eletrodo revestido para fazer a tampa superior e inferior, notou-se imperfeições que possibilitariam a entrada de água, sendo necessária a utilização de retífica presente no SG-09 para nivelar a estrutura, conforme ilustrado na Figura 49:



Figura 49. Operação de faceamento da cápsula na fresa

Para vedação dos furos na estrutura e ainda assim possibilitar a filmagem empregou-se placa de acrílico de 10 mm de espessura com quatro furos onde foram feitas roscas para passagem de parafuso. Nesta ainda empregou-se silicone para impedir que as imperfeições do metal e do acrílico possibilitassem a vazão de água.

Após vários testes concluiu-se que material empregado na junção das duas partes de metal não deveria ser inferior a 4 mm e de borracha de resistência elevada, devendo ser substituída a cada montagem da estrutura. Experimentos em outras estruturas do ROV demonstraram que os cabos que atravessavam o compartimento possibilitavam a passagem de água, e para solucionar este problema nesta estrutura foi soldado um cilindro de 25 mm de comprimento que acompanharia a saída da fiação desprovida do envoltório de plástico. e seria vedado através de resina epóxi. O cabeamento que se solidificou ao epóxi contém um cabo CAT6 para conectar a câmera ao computador; dois cabos de energia; 4 fios elétricos extras caso necessária a utilização de outros dispositivos a serem futuramente acoplados; e 2 fios pertencentes ao sensor.

Realizou-se então uma simulação em SolidWorks, ilustrado na Fig. 50, para analisar se haveria possibilidade do acrílico se romper, contudo tanto a análise de tensões por Von Mises desta peça como do restante feito de aço se mostrou capaz de suportar a pressão, conforme aponta a seguinte figura sinalizando a parte mais crítica ser mesmo a região de acrílico, porém não oferecendo riscos já que pelo diagrama de cores observa-se o acrílico em azul claro não alcançar a tensão crítica que estaria representada em vermelho caso o material não fosse capaz de suportar a pressão.

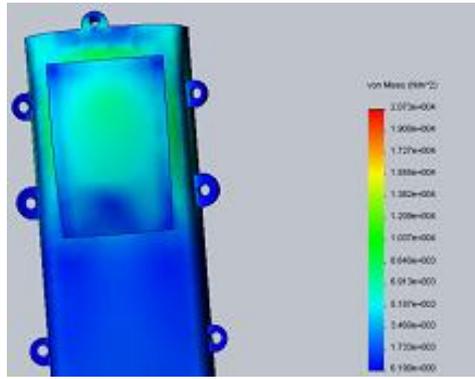


Figura 50. Análise de tensões da cápsula

O que se deve ficar atento é o fato de o acrílico quando submetido à elevada pressão realizada pelo parafuso é capaz de se deformar com o passar do tempo. Tal ocorrência foi observada quando havia quatro parafusos para fixação do plástico no metal e o acrílico fletiu em alguns dias. Deve-se, portanto desmontar o conjunto ao fim da operação para garantir a longevidade das peças. Outros dois parafusos intermediários foram adicionados a este compartimento para que se prevenisse a entrada de água em testes posteriores.

Testes na autoclave foram feitos com a estrutura montada passando todo cabeamento necessário para ativação da câmera e baterias para verificação de infiltrações e esta se mostrou capaz de suportar pressões menores ou iguais a 4 bar, suficientes para descida dos 40 metros de profundidade requisitados pelo projeto sem o menor vestígio de entrada de água.

Por se ter grande preocupação na preservação dos componentes eletrônicos presentes nesta cápsula, buscou-se por um dispositivo que alertasse a presença de água fornecendo tempo hábil para o desligamento da câmera podendo então poupá-la de curto circuito caso houvesse infiltração.

Este sensor é acionado basicamente por um transistor, que trabalha em corte (sinal 1) em ausência de água deixando o circuito aberto, ou saturação (sinal 0) na presença de água. Para tanto utilizou-se dois fios paralelos sem a capa de proteção em um trecho de um dos fios e no fim deste trecho descascou-se o outro fio de modo que a presença de sais na água conectaria os dois. Montou-se também o circuito elétrico responsável pela ativação do LED conforme esquematizado no programa CircuitMaker, ilustrado na Figura 51. (a) Representação do contato (b) Circuito Sensor

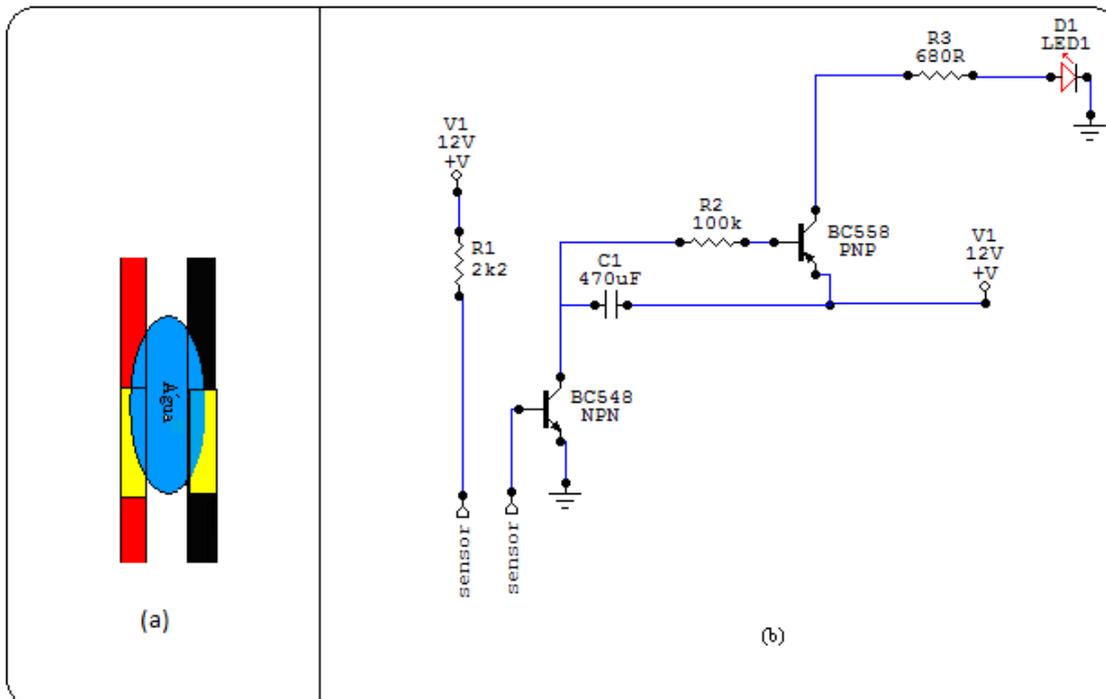


Figura 51. (a) Representação do contato (b) Circuito Sensor

Por fim notou-se a oxidação da estrutura durante a fase de testes, devendo esta ser protegida de alguma forma para sua preservação. Pintou-se então o invólucro eletrostaticamente conferindo bom acabamento e proteção contra corrosões e possíveis arranhões que levariam a novas oxidações.

O resultado final das partes constituintes e da estrutura montada se encontra exposto na Fig.52:



Figura 52. Estrutura e parte constituinte da câmera

4.4.6. TAMPAS DE PROTEÇÃO

Foram projetadas duas bases com a função de abrigar os demais elementos do ROV entre estas, impedindo assim que sofressem impactos possivelmente danificando-os. As tampas por terem dimensões equivalentes ao maior comprimento do ROV não poderiam ter elevada massa específica sobrecarregando os motores ao movimentar o robô.

Pensou-se então em um material que agregasse ao mesmo tempo leveza, resistência, e moldabilidade que garantisse uma boa aparência para a interface do protótipo, sendo estas as características inerentes a materiais compósitos. Tais materiais são formados por uma fase dispersa (fibra), que fornece maior módulo de elasticidade e outra contínua (matriz), que é responsável por enrijecer a estrutura, sendo também necessária a escolha de quais tipos utilizarem.

Como os possíveis choques são de impacto moderado tendo em vista a desaceleração causada pela água, dispensou-se a utilização de fibras de custo mais elevado como de carbono. Foi selecionada a fibra de vidro por apresentar uma melhor relação de custo/ resistência, apresentando módulo de elasticidade de $E=70\text{GPa}$. Para a escolha da matriz foi selecionada resina que não permitisse a qualidade do compósito reduzir muito, visto que possui módulo de elasticidade muito inferior a fibra, optando-se então pela resina epóxi de módulo de elasticidade de valor $E=2,41\text{GPa}$.

Na síntese da estrutura foram utilizadas então resina epóxi da marca Araldite e fibra de vidro da marca Anjot em proporção de 50% de cada material. Com estes dados então pode-se calcular o módulo de elasticidade resultante do compósito a partir da regra das misturas (Levy Neto, 2006), onde o módulo de elasticidade resultante se dá pela soma dos módulos de elasticidades multiplicados pelas suas respectivas frações volumétricas.

Logo segundo a regra das misturas:

$$E = v_1 \cdot E_1 + v_2 \cdot E_2 \quad (16)$$

$$E = 0,5 \cdot 70 + 0,5 \cdot 2,41$$

$$E = 36,205 \text{ GPa}$$

O módulo de elasticidade resultante quando comparado ao aço, que possui seu módulo de elasticidade de aproximadamente ($E=200\text{Gpa}$), pode ser considerado baixo garantindo que a estrutura será capaz de deformar-se absorvendo a energia provocada pelas colisões e impedindo que esta seja absorvida por demais elementos. O material empregado possui, conforme experimentos realizado em outras estruturas, elevado valor para tensão de ruptura concluindo-se excelente para suportar impactos.

Procedeu-se então com a fase de criação das bases, com auxílio de profissional de artes cênicas para geração de molde macho, feito em gesso, com curvaturas que impediriam que a estrutura de compósito fletisse com facilidade. Nesta seriam posteriormente depositados a matriz e o reforço.



Figura 53. Molde para fabricação das bases

Feito o molde procedeu-se com a laminação do compósito, preparando a bolsa de vácuo a partir de material plástico e massa de calafetar para que se fizesse a vedação. Aplicaram-se sobre o gesso duas camadas de fibra de vidro, e posteriormente foi despejada a resina epóxi com quantidade de catalisador a um quarto do recomendado para que se tivesse tempo hábil para cumprir os demais processos antes que a mistura endurecesse.

Fechou-se então a bolsa de vácuo com a massa de calafetar e conectou-se a bomba adaptada a partir de um nebulizador comum. O esquema proposto se encontra ilustrado conforme a figura abaixo.



Figura 54. Aparato para laminação

Esperaram-se então 24 horas para que a resina pudesse se solidificar e finalmente foi retirada com cuidado a estrutura do molde para que não trincasse o gesso, possibilitando que mais uma laminação fosse feita utilizando o mesmo molde.

Para acabamento final das placas pintou-se as mesmas com tinta branca para retirar a transparência do compósito e escolheu-se a cor laranja para coloração definitiva do ROV por ser mais

chamativa e, portanto tornar mais fácil sua visualização da superfície ou por filmagem de outro ROV de visualização.

O resultado da laminação é apresentado pela seguinte figura:



Figura 55. Tampas de proteção

Posteriormente, para melhores condições de dinâmica, dois furos em cada placa terá que ser realizado para que o fluxo de água proveniente dos propulsores que se dirigem para as tampas não as atinja tornando ineficiente os movimentos de rotação e translação no plano perpendicular às mesmas.

4.5. ESTÁTICA DO ROV

Conforme anteriormente proposto em projeto, buscou-se concretizar a estática do ROV sem interferência dos propulsores, e para tanto uma série de medidas experimentais foram realizadas começando com a mensuração da massa de cada componente. A seguinte tabela com estes dados levantados para cada elemento foi então gerada:

Tabela 15. Massa dos componentes

Componente	Massa (g)
Estrutura	3890
Cápsula da Câmera	2272
Propulsores (X6)	335 (Cada) / 2010 (total)
Câmera	77
Bateria (X4)	168 (Cada) / 672 (total)
Tampa (X2)	1200 (cada) / 2400(total)
Compartimento e eletrônica	1162
Sensor de Pressão	150
Total	12663

Com estes dados pôde-se ter uma noção de quanto seria necessário de empuxo para que se anulasse o peso do ROV, concluindo-se que o uso de pequena quantidade de isopor, por sua baixa massa específica obtida ($\rho=0,011\text{g/cm}^3$), seria suficiente para atingir o objetivo proposto anulando os 126,330 N de peso.

Para o cálculo do volume de isopor a ser empregado, teria que ser desconsiderado o empuxo proveniente de cada elemento. Contudo uma nova análise foi feita para se obter diretamente o peso aparente do ROV em água. Uma célula de carga foi modificada a partir de uma balança comum como na figura abaixo:



Figura 56. Célula de Carga

Submergiu-se o ROV na água e uma das extremidades de uma corda foi presa no ROV e a outra na célula de carga. A partir da leitura do instrumento de medição criado obteve-se a massa aparente do ROV:

$$m_{\text{aparente}} = 2750\text{g}$$

Com isto pôde-se calcular através da segunda lei de Newton o volume necessário de isopor a ser empregado no ROV:

$$F_R = m \cdot a \tag{17}$$

$$E_{\text{isopor}} - P_{\text{aparente}} = 0$$

$$\rho_{\text{água}} \cdot V_{\text{isopor}} \cdot g = 27,50$$

$$V_{\text{isopor}} = 2750\text{ cm}^2$$

Testes iniciais foram então realizados colocando-se duas placas de isopor diretamente abaixo das tampas de proteção do robô garantindo a simetria necessária para a estática sob quaisquer angulações, porem por estas serem de pequena espessura para atender ao volume calculado, acabavam se partindo quando submersas.

Outra configuração que mantivesse a simetria foi pensada colocando-se cubos de isopor nos oito cantos do ROV. Obteve-se então o lado do cubo a ser cortado com resistência ligada em fonte a partir do volume anteriormente calculado:

$$\frac{V_{isopor}}{8} = L_{isopor}^2 \quad (18)$$

$$L_{isopor} = 7,001 \text{ cm}$$

Testes foram então realizados para verificar a proximidade dos resultados obtidos pelos cálculos realizados com os empíricos. Observou-se então que o ROV apresentou comportamento levemente positivo e tendia a criar momento angular, tal diferença pode ter se apresentado devido à fabricação dos cubos, que poderiam estar com leve diferença de volume em relação ao calculado.

Como última alteração decidiu-se por diminuir a distância entre o centro de massa e o ponto de aplicação da força para que pequena discrepância no módulo do empuxo não causasse momento angular grande o bastante para girar o robô em curto espaço de tempo. Utilizou-se então borracha EVA com volume calculado como no procedimento realizado para o isopor e também uma placa de alumínio para sua proteção impedindo que se rompesse como na tentativa realizada com placa de isopor. O resultado final se é representado na Fig. 57:



Figura 57. Flutuadores

Com testes finais realizados observou-se que seu comportamento foi levemente negativo com momento angular aproximadamente nulo, que para testes iniciais a serem realizados posteriormente em dinâmica tais discrepâncias se faziam muito pequenas não sendo necessário neste momento mais ajustes.

Futuramente com o rasgo realizado na tampa para melhores condições de dinâmica obrigariam que novos cálculos fossem realizados para novas condições de estática, sendo mais um item a ser observado em trabalhos futuros do ROV.

4.6. CONTROLE

O sistema de controle de um ROV é o principal componente no qual o operador irá utilizar. Após visualização pelo sistema de visão, o operador irá comandar o ROV para fazer operações no qual tem que ser processados e enviados ao veículo para execução. O sistema de controle do ROV “Poseidon” está dividido em quatro partes: O dispositivo de interface humana (HID) no qual o operador irá utilizar para comandar o veículo, o software de controle denominado *CSA Poseidon Control*, o cabo de transmissão (*teather*) e o sistema de navegação do ROV.

4.6.1. DISPOSITIVO DE INTERFACE HUMANA – HID

Para comandar o veículo subaquático, utilizou-se o controle *Nunchuck* do Wii™, fabricado pela Nintendo™. Esse controle possui um controle analógico XY, dois botões de disparo e um acelerômetro triaxial baseado no processador STMicroelectronics LIS3L02AL no qual é possível utilizar para controle do ROV.



Figura 58. *Nunchuck*(frente e trás) e o acelerômetro triaxial

O *Nunchuck* é um controlador usualmente utilizado para controle de projetos eletrônicos, pois ele é facilmente interfaceado com o microcontrolador ATmega 328p, comumente usado na plataforma *Arduino*, acessando as portas SDA e SCL via protocolo I2C. Sua conexão é feita por contato direto entre os cabos do *Nunchuck* ou um adaptador *Nunchuck - Arduino* que é fabricado com uma placa de fenolite de 2 camadas de cobre e pinos mini-modu 3mm. Esse adaptador conecta os pinos do controle com os seguintes pinos do *Arduino*:

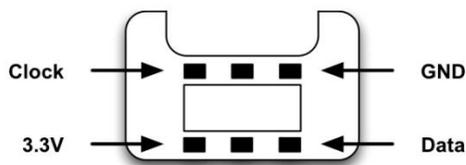


Figura 59. Mapa de pinos do conector do *Nunchuck*



O *Nunchuck* tem 4 cabos:

- Branco - GND;
- Vermelho- 3.3V;
- Verde- SDA(Pino Analog 4);
- Amarelo- SCL(Pino Analog 5);

Figura 60. Ilustração da ligação *Arduino-Nunchuck*

A biblioteca “Wire.h” permite a leitura do protocolo I2C, e a biblioteca “WiiChuck.h” que faz a interpretação dos dados e oferece funções de leitura do controle analógico, botões e acelerômetro triaxial do *Nunchuck*. Com a interpretação dos comandos dados no *Nunchuck*, o *Arduino* irá enviar via USB para o Laptop, onde o programa *CSA Poseidon Control* recebe os comandos, interpreta e processa para passar os dados necessários ao sistema de navegação do ROV para executar o movimento desejado.

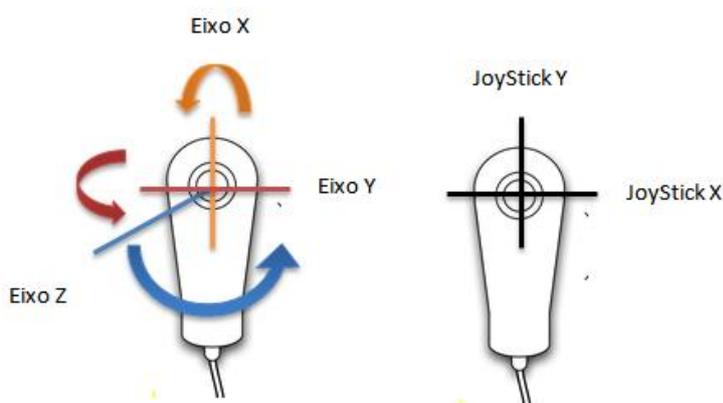


Figura 61. Eixo de Coordenadas do *Nunchuck*

O operador utilizará o controle como dispositivo de controle do estado do Poseidon. Utilizando os componentes do *Nunchuck*, o operador consegue controlar os seguintes parâmetros:

- JoyStick Y → ROV para Frente/Trás- Translação;

- *JoyStick X* → ROV para Esquerda/Direita - Translação;
- Giro ao redor do eixo Z do controle → Inclinação do ROV de arfagem;
- Giro ao redor do eixo Y do controle → Inclinação do ROV de guinagem;
- Giro ao redor do eixo X do controle → Inclinação do ROV de rolagem;
- Segurar o Botão Z e *JoyStick Y* → ROV para Cima/Baixo(mudança de profundidade);
- Botão C → Aberto para manipulador ou controle de iluminação;

4.6.2. CSA POSEIDON CONTROL

O programa *CSA Poseidon Control* foi desenvolvido na linguagem Processing™, uma linguagem de programação derivado da linguagem Java™, porém que utiliza uma sintaxe simplificada e modelo gráfico de programação. A sólida integração entre o *Arduino* e o Processing™ e a facilidade em programação gráfica foram os fatores determinantes para a escolha dessa linguagem para desenvolver o programa.

O programa lê o estado atual do *Nunchuck* e do sistema de navegação. Ele então organiza e dispõe na tela as principais informações, como tensão da bateria, temperatura externa, temperatura interna da cápsula de eletrônica, intensidade dos LEDs de iluminação, e orientação de guinagem e rolagem do ROV.

O programa disponibiliza dois modos de controle que pode ser escolhido ao apertar o botão *ToggleValue* no canto inferior esquerdo. O modo PC, no qual na interface gráfica as barras rolantes, também conhecidas como *sliders*, são usadas manualmente para controle de velocidade dos propulsores do ROV. O valor atual de velocidade está visível na extremidade esquerda das barras. Os valores máximos e mínimos do *Esc* são, respectivamente, 130 e 30, que representam a faixa de onda do sinal PWM já convertido para utilizar na função *AnalogWrite* do Processing.

Seguido, existe o modo *Nunchuk*, no qual o principal meio de controle é o próprio dispositivo *Nunchuck*. O valor à esquerda das barras representa os valores do controle analógico, que irá sobre pré-processamento antes de ser enviado serialmente ao sistema de navegação, segundo o padrão estabelecido anteriormente das operações do *Nunchuck*.

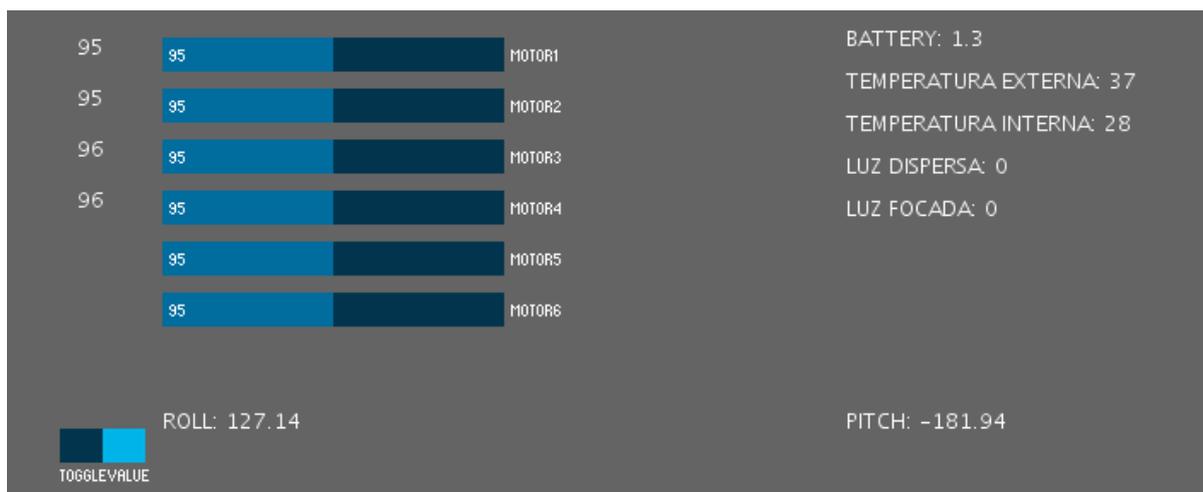
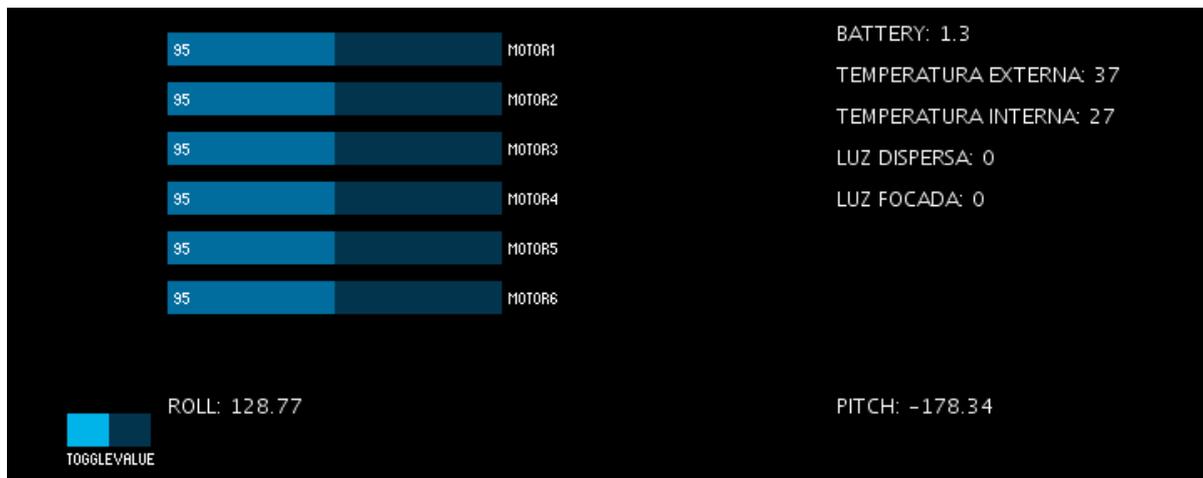


Figura 62. CSA Poseidon Control nos dois modos: Modo PC(superior) e Modo Nunchuck(inferior)

4.6.3. CABO DE TRANSMISSÃO - TEATHER

O cabo de transmissão, mais comumente conhecido na indústria de ROVs por *Teather*, é composto por um par de extensores USB – CAT 5 e um cabo CAT5 de 40 m. Esses dois elementos juntos irá transmitir os dados enviados via serial para o sistema de navegação do ROV.



Figura 63. Extensor USB - CAT5

O extensor utiliza um chip que balance o cabo, ou seja, elimina o ruído proveniente do campo eletromagnético presente na região. Todo cabo condutor em si é uma potencial antena, sofrendo interferência de campos elétricos pertos. Cada vez maior o cabo, maior a amplitude do ruído, sendo que para um comprimento longo pode sofrer indução no nível que o CI possa interpretar o dado erroneamente, atrapalhando a transmissão e confiabilidade dos sinais no receptor.

O cabo CAT5 é composto por quatro pares trançados, onde cada par transmite o mesmo sinal de dados, porém com fases invertidas e um par faz o papel de terra. A inversão das fases elimina interferências recebidas pelo cabo em seu trajeto: imaginando-se o sinal como uma onda, se uma interferência é recebida no meio do trajeto no cabo, ela é recebida igualmente pelos 2 cabos, acarretando por exemplo um acréscimo na voltagem dos dois naquele ponto. Porém, os sinais, que trafegam com fase invertida pelos cabos, são invertidos novamente quando chegam ao circuito eletrônico: a interferência fica então como um acréscimo de voltagem em um cabo e um decréscimo no outro, com mesma intensidade. O circuito soma sempre a voltagem dos dois, o que acarreta um cancelamento da interferência causada. Ao contrário, os sinais de dados não são afetados, simplesmente são invertidos duas vezes:

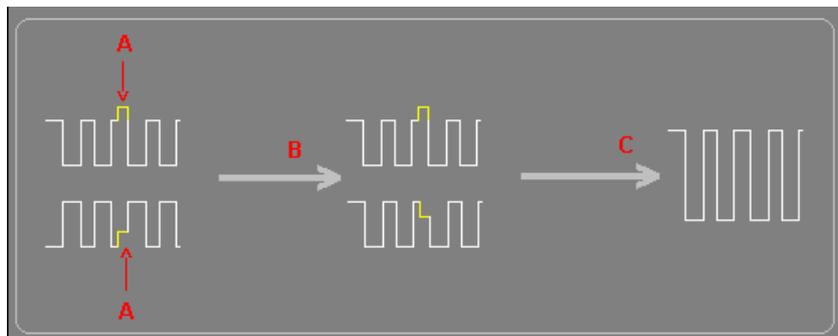


Figura 64. Esquemático de balanceamento do sinal

No desenho acima, os sinais à esquerda trafegam pelo cabo com fase invertida. O cabo recebe uma interferência externa no ponto (A): os dois sinais são afetados da mesma maneira. O setor de entrada do circuito no qual o cabo é conectado (B) inverte a fase do segundo sinal. Resultado: os sinais de som agora possuem mesma fase, porém o ruído ficou com fase invertida. Em (C), os dois sinais são somados, resultando em um sinal mais intenso e livre da interferência causada em (A).

Para fabricação do cabo de transmissão é necessário inserir os conectores adequados nas extremidades. Para conexão com os extensores, necessita de conectores RJ45. Esses conectores são facilmente encontrados em qualquer loja de informática e, com auxílio de um alicate de crimpagem, é possível fixar o conector na extremidade do cabo. Porém, é importante fazer o processo de crimpagem na ordem certa dos fios, seguindo a norma T- 568A apresentado na figura abaixo. Essa ordem garante que o cabo transmite os dados balanceados, pois cada par de fios trançados possuem uma torção certa, no qual influenciam na ordem dos fios. Caso o conector não for inserido conforme a norma, o cabo não irá operar com confiança, podendo perder dados e, inevitavelmente, a comunicação com o veículo.

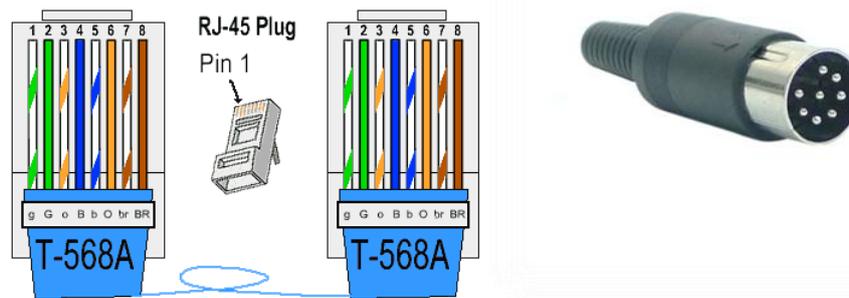


Figura 65. Padrão T-568A do conector RJ45 e um conector DIN 8 vias metálico.

Para a outra extremidade, utiliza o conector DIN metálico de 8 vias para conexão com a capsula eletrônica do ROV. Esse conector impede conexão erradas, sendo que só pode inserir o conector se o posicionamento da barra lateral dele tiver aliando com o rasgo do conector fêmeo. Além disso, o conector DIN é feito de barras de transmissão de metal maciço, que resiste aos efeitos de pressão da água auxiliando na vedação.

4.6.4. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO

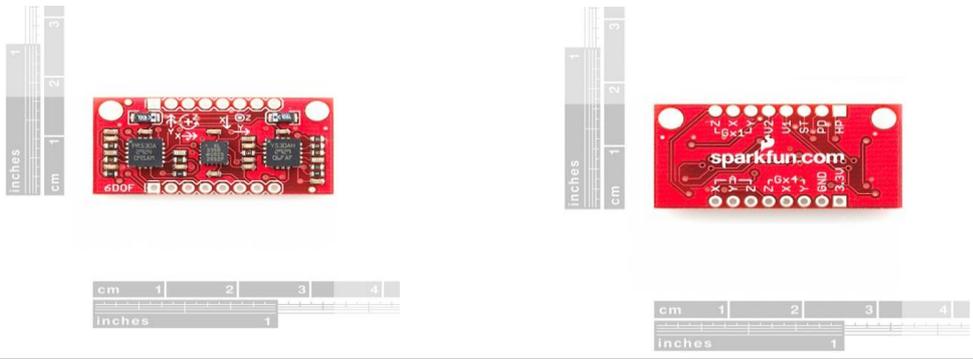
O sistema de navegação é o circuito responsável por controlar os motores e iluminação do ROV, assim como medir parâmetros como pressão, temperatura, aceleração e voltagem. O sistema de navegação é composto por um placa *Arduino Mega*, baseado no microcontrolador Atmel ATmega 2560, em conjunto com a placa 6DOF Razor- Ultra-Thin IMU para controle de estabilidade.

O *Arduino* é conectado com os *Escs* dentro da capsula de eletrônica, onde ele utiliza sinais PWM para controle de velocidade dos motores. As placas de LEDs, que servem como iluminação auxiliar, é controlado via PWM, regulando via os mosfets IRF 530 tipo N a tensão efetiva nos LEDs. Também estão conectados dois sensores de temperatura LM 35, um interno e outro externo, para monitorar a diferença de temperatura entre a cápsula de eletrônica e do ambiente aquático. A placa IMU (*Inertial Mesure Unit*) fornece dados sobre a aceleração e rotação do ROV, sendo utilizado para determinar a orientação do ROV e futuramente poderá ser utilizado como dispositivo auxiliador da estabilidade dinâmica do veículo.

Tabela 16. Dados técnicos do *Arduino Mega 2560*

<i>Arduino Mega 2560</i>	
	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão Operacional	5V
Tensão de entrada	7-12V
I/O digitais	54(nos quais 15 fornecem sinais PWM)
Pinos analógicos	16 (resolução de 10 bits para leitura e 8 bits para saída)
Corrente máx por pinos digitais	40 mA
Corrente máx por pinos analógicos	50 mA
Memória Flash	256 KB nos quais 8 KB são reservados para o bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock	16 Mhz

Tabela 17. Dados técnicos do IMU Razor 6DOF

IMU 6DOF Razor- Ultra-Thin IMU	
	
Acelerômetros	ADXL335 acelerômetro de três eixos
Giroscópios	LPR530AL(para guinagem e rolagem) e LY530ALH(para arfagem) da fabricante ST.
Tensão operacional	2.7 – 3.6V
Saída de guinagem, arfagem e rolagem dos gyros: <ul style="list-style-type: none"> • Amplificado de 1x e 4x (sensibilidade de 0.83 e 3.33 mV/°/s, respectivamente); • Escala de $\pm 300^\circ/s$. 	
Saída X, Y e Z do acelerômetro: <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidade de 300mV/g; • alcance de $\pm 3g$. 	
*Incluso no circuito todos os componentes para filtragem e uso do IMU para medição de posicionamento no espaço em tempo real	

Os *Escs* e o sistema de navegação ficam na seguinte configuração dentro da cápsula de eletrônica. Pode se notar que rolo de fita verde é o conjunto de *Escs*, para facilitar a montagem e retirada do conjunto para manutenção.

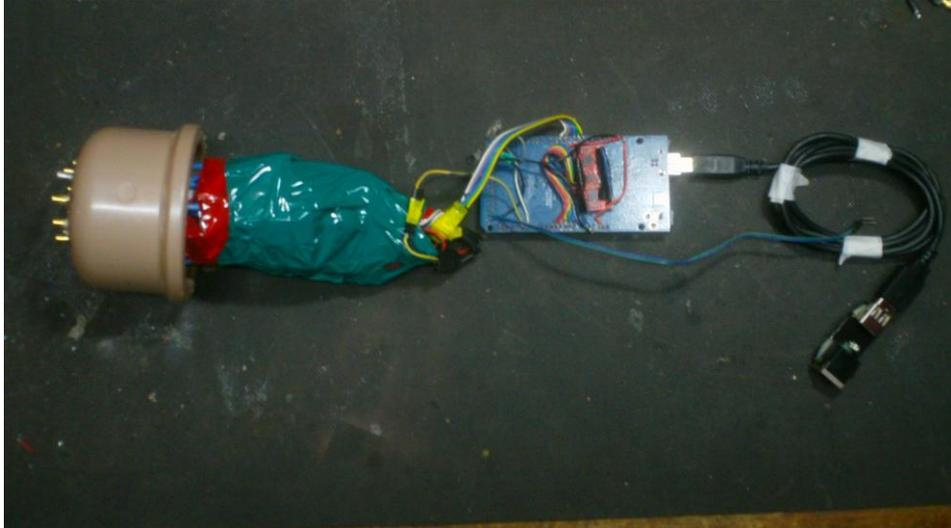


Figura 66. Sistema de navegação montado.

5. CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto do ROV Poseidon demonstrou ser um desafio mais complexo que esperado. Inúmeras ocasiões tiveram-se de retornar ao projeto conceitual para mudar formas na estrutura, do projeto dos propulsores, vedação das cápsulas, aquecimento e transmissão de dados e energia. Vale ressaltar que os ensaios foram fundamentais para validação de soluções para os problemas apresentados no projeto. Ao testar cada componente em um ambiente pressurizado, a atender aos requisitos do projeto, foi possível notar falhas em construção ou montagem de peças fundamentais do veículo, implicando na importância de futuros estudos e desenvolvimentos nessas áreas para melhorar o projeto do ROV Poseidon, ampliando sua profundidade de operação e tempo de utilização em ambientes subaquáticos.

Necessitaram-se pesquisas em áreas de elétrica, potência, transmissão de energia e dados, transferência de calor, materiais, entre outros, classificando esse projeto como multidisciplinar, e necessário uma equipe de várias áreas para desenvolvimento desse protótipo. A Tabela 18 das configurações final do veículo está apresentada abaixo:

Tabela 18. Dados finais do protótipo Poseidon

Dados Técnicos	ROV "Poseidon"
Classe	Explorador
Dimensões (mm)	575mm (Largura) x 570mm (Altura) x 650mm (Comprimento)
Peso	12.6 Kg
Propulsores	6x (270 W, 2.25 Kg de empuxo cada)
Configuração	360° 6DOF
Profundidade	40m
Visão	HD
Sensores	<ul style="list-style-type: none">• IMU tri-axial• Sensores de Temperatura• Sensores de Infiltração• Sensor de Profundidade• Proteção térmica nos propulsores

O objetivo foi projetar um veículo de auxílio para operações de busca e resgate ao CBMDF, que pudesse navegar nos limites do Lago Paranoá, oferecendo visão de boa qualidade, dados do ambiente e potência necessária para manobras e obtenção de objetos. Mesmo que o modelo atual não

possui manipulador, o sistema disponibiliza saídas de controle preparadas para a inserção de um no futuro.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Apesar de muito se ter evoluído do primeiro trabalho apresentado para este presente, ainda elementos podem ser aperfeiçoados e produzidos visto que ROV's possuem grande complexidade e grande variedade de aplicações que podem ser implementadas conforme necessidade de determinado evento.

Neste projeto observou-se que se poderiam aperfeiçoar os seguintes itens:

- Perfuração das bases de proteção para melhoramento da dinâmica.
- Mais testes para concluir o equilíbrio com perfeição.
- Refazer estrutura com material de melhor acabamento mantendo as características anteriores como o alumínio, permitindo mais durabilidade e confiabilidade em ambientes mais agressivos.
- Reconfiguração do controle para deixá-lo mais simples e intuitivo.
- Utilização de IMU integrado ao sistema para correção de trajetória.
- Emprego de outros sensores conforme outra aplicação.

Com esta estrutura se poderia utilizar o ROV não só com aplicação de busca e resgate no Lago Paranoá como também para outras, como recentemente muito se tem comentado a respeito do nível de oxigenação da água para verificação de qualidade. No meio acadêmico também muito ainda pode ser explorado sobre o controle do ROV.

Os resultados deste projeto foram atingidos através de teorias levantadas no PG1 e seguintes testes para validação do que se tinha produzido. Estes testes se mostraram essenciais para concretização do projeto, visto que em todas as etapas teorizadas foram passíveis de pequenas ou até mesmo mudança total de projeto inicial devido a inúmeras variáveis que foram se apresentando e a teoria não foi capaz de prever.

Atingiu-se o objetivo proposto de projeto e construção de protótipo de ROV capaz de girar e transladar em todos os sentidos e direções; capaz de atingir a profundidade de 40 metros comprovados

por análise teórica e diversos testes realizados em componentes (propulsores; cápsulas da câmera e eletrônica) separadamente e posteriormente em conjunto aos demais elementos.

Diversas fotos, como a seguinte, e vídeos documentando a realização dos testes foram realizadas e serão anexados ao CD, atestando os relatos apresentados no decorrer deste projeto de graduação.

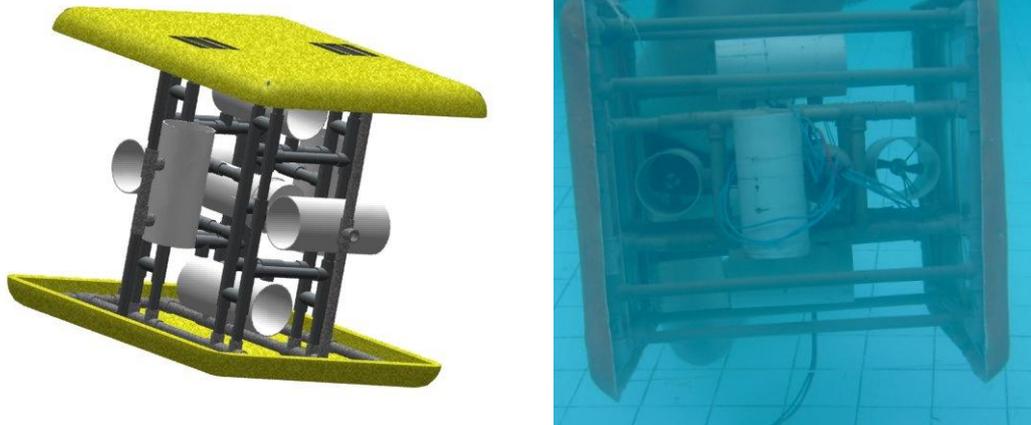


Figura 67. ROV conceitual e construído

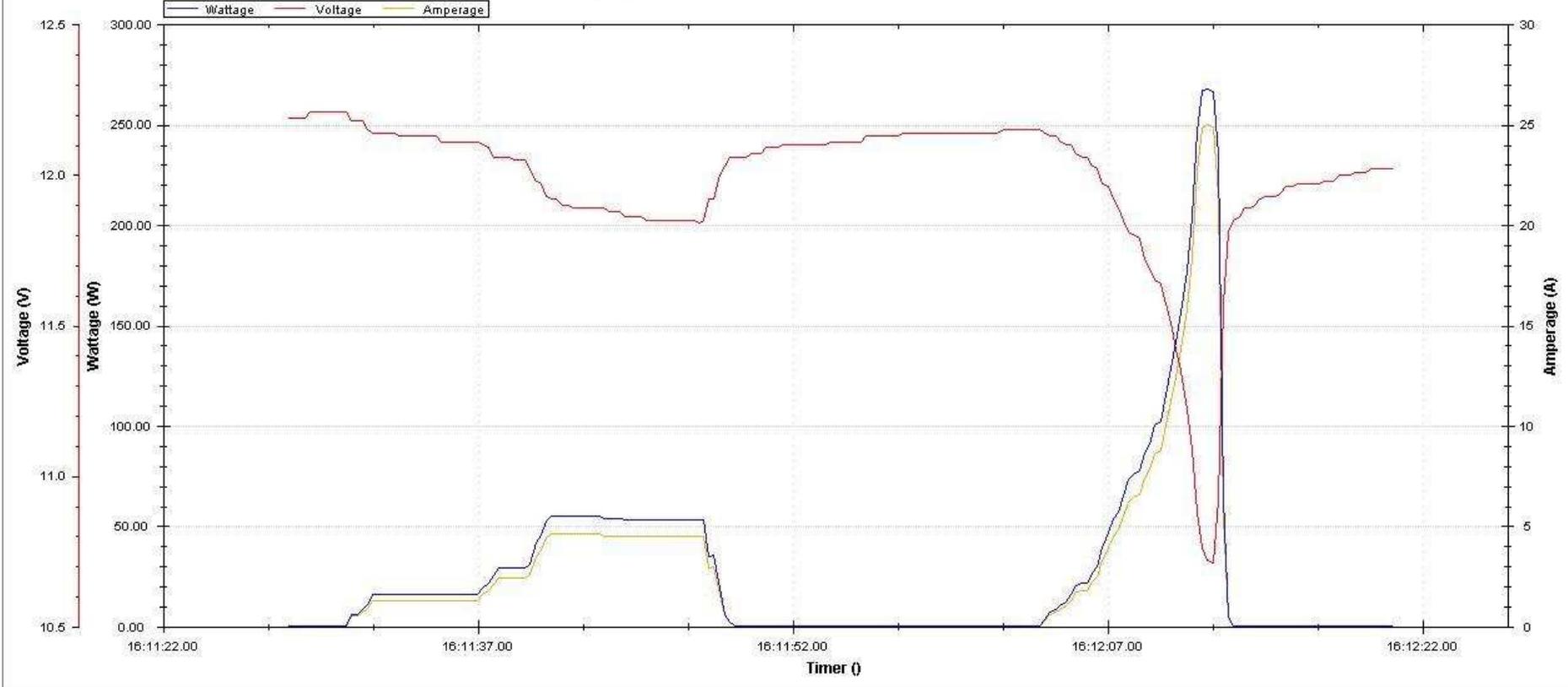
Concluiu-se, portanto que um projeto inovador, como o ROV construído, somente é passível de alta qualidade de projeto quando paralelamente seu protótipo é concebido, pois eventuais problemas que não podem ser encontrados em bibliografias são certamente descobertos com a prática e devendo ser resolvidos através da criatividade e do auxílio dos conhecimentos adquiridos pelo engenheiro ao longo de seu curso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kollár, L. ,1984, “Buckling of shields for engineers”, Editora: Wiley, 1 ed.
- Harris, Brayton, 2001, “Navy Times Book of Submarines, The: A Political, Social and Military History”, Editora: The Berkley Publishing Group; 1 ed.
- Ross , C.T.F, 1990,“Pressure vessels under external pressure. Static and dynamics”, Editora: Spoon Press, 1 ed.
- Christ, R.D., Wernli SR, R.L., 2007, “The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles”, Editora: Elsevier Ltd., 1 ed.
- Albuquerque, A.C,1990, J,“O plástico na prática”, Editora: Sagra, 1 ed.
- Carlon, J, “Marine Propeller and Propulsion”, 2007, Editora: Butterworth-Heinemann; 2 ed.
- Franco, L.C.F, 2011, “O perfil das mortes por afogamento no Distrito Federal: uma análise do cenário atual sob a ótica da gestão da informação”, disponível nos arquivos digitais do site oficial do CBMDF: <https://www.cbm.df.gov.br> .
- Levy Neto, F., Pardini, L.C., 2006, “Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia”, Editora: Edgard Blucher, 1 ed.
- Norma NBR 06158, 1995, “Sistema de tolerância e ajustes”.
- Manual Sea Perch versão 2010-04NW, 2010, ”SeaPerch Remotely Operated Vehicle (ROV)”, disponível somente no site oficial <http://seaperch.mit.edu/> .

ANEXO I – Gráfico da Carga Crítica:

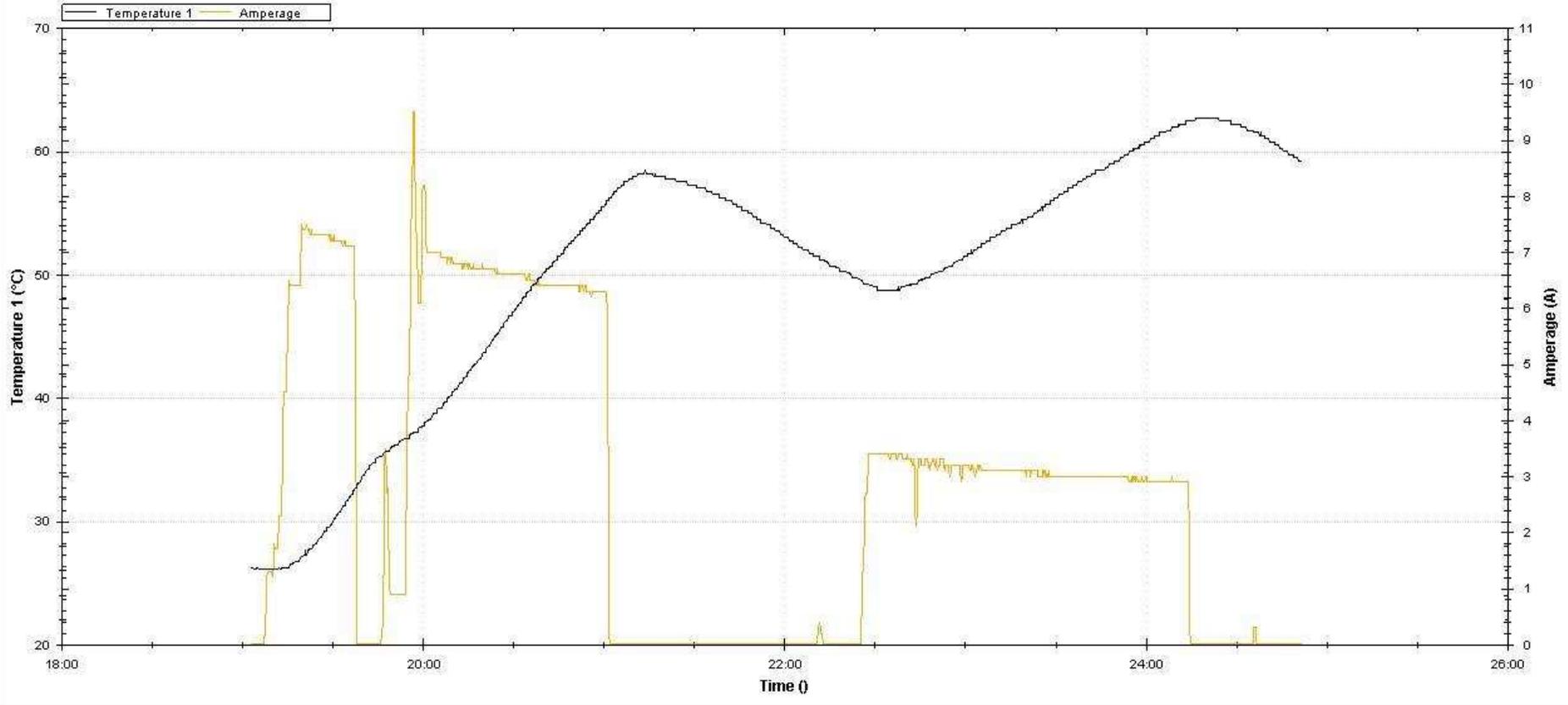
004	Min	Max	Avg
Wattage:	0.00	268.00	27.67
Voltage:	10.71	12.21	11.98
Amperage:	0.00	25.00	2.40



ANEXO II – Aquecimento Crítico:

006
Temperature 1:
Amperage:

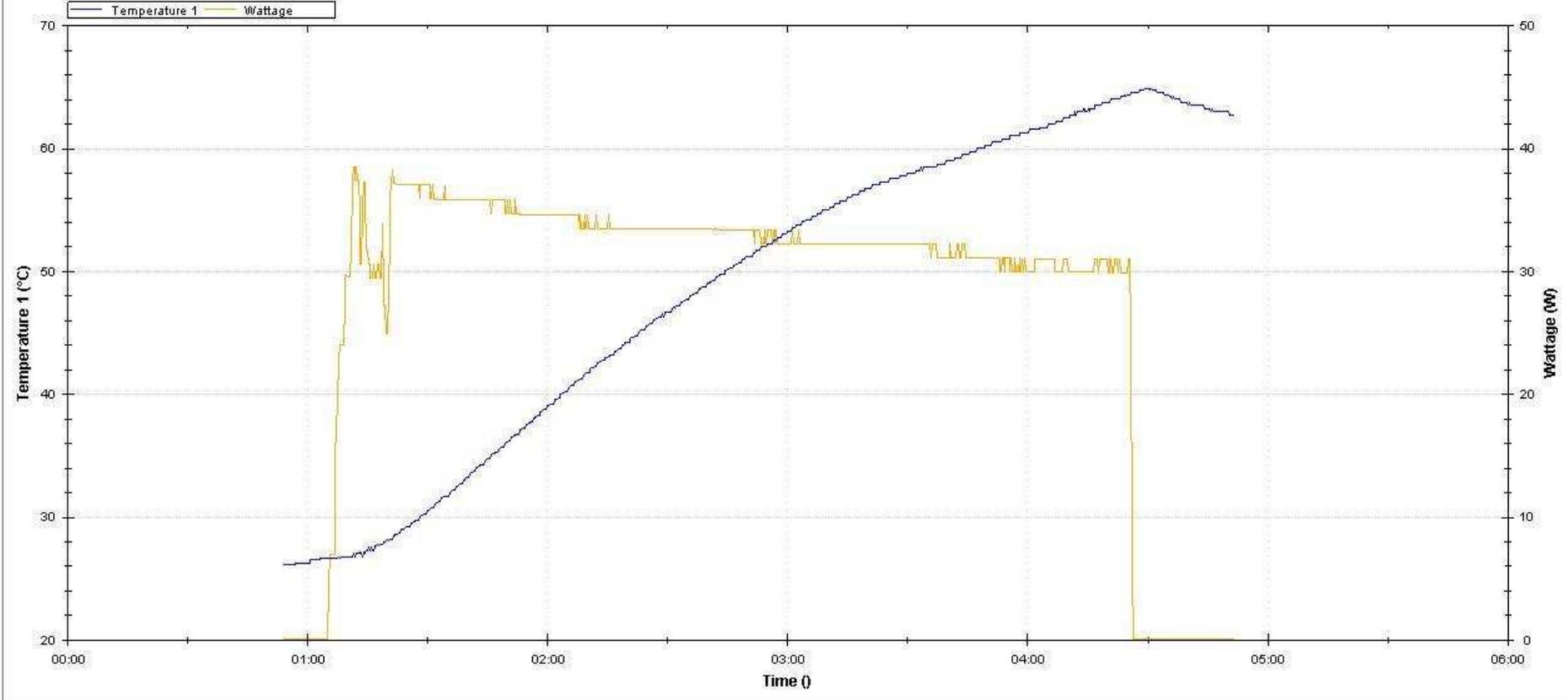
Min	Max	Avg
26.10	62.70	50.32
0.00	9.50	2.78



ANEXO III – Aquecimento Operacional:

007
Temperature 1:
Wattage:

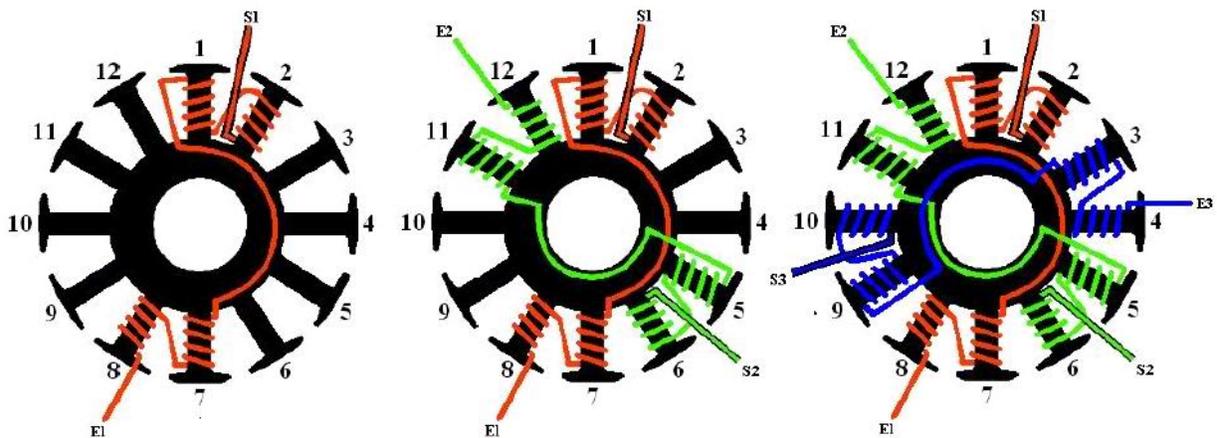
Min	Max	Avg
26.10	64.80	48.62
0.00	38.45	27.61



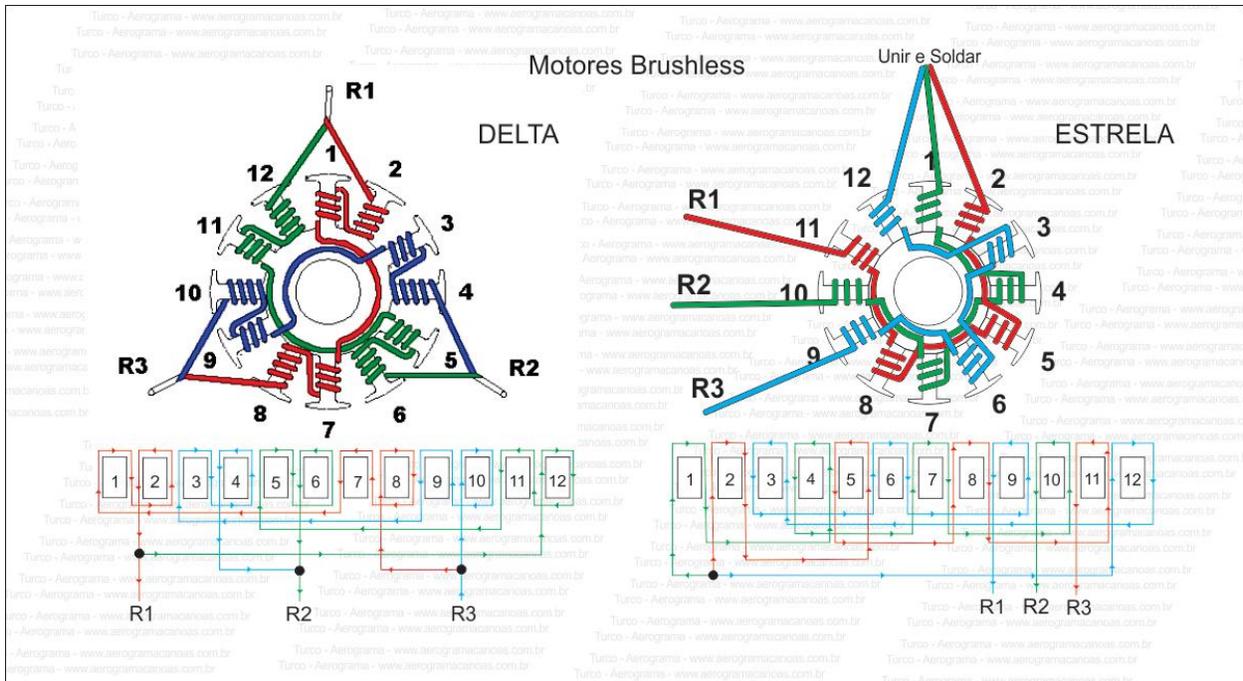
ANEXO IV - Manutenção do Motor:

Durante sua utilização nas diversas configurações do Módulo Propulsivo e testes de empuxo e aquecimento, alguns motores queimaram por corrente excessiva causada pela grande carga de hélices acima do limite de carga do motor e por fuga de corrente quando um Esc queimou por curto de infiltração dentro do módulo propulsivo. Assim, foi necessário aprender como consertar o motor para obter suas características originais para manter padronização entre os motores do sistema.

O motor WayPoint 2213-0760 é classificado como um motor brushless Outrunner, ou seja que sua carcaça é parte giratória enquanto o estator fica imóvel no centro do motor. O estator desse modelo possui 12 polos, portanto sua ligação é diferente dos motores brushless convencionais de 9 polos. Cada fase do motor é composto de 4 fios AWG 33 esmaltados, onde são rebobinados seguindo o esquema abaixo aplicando 15 voltas em cada polo do estator. Uma dica de construção para evitar que os fios se separem durante o enrolado é antes esticar os 4 fios juntos e aplicar uma camada extra de esmate transparente para unir os fios entre si e assim formar uma fina fita que auxilia na operação.



A ligação original da Waypoint nessa série é utilizando o esquema DELTA, onde os pares de fios S1-E1, S2-E2 e S3-E3 são unidos por estanho. Porém, essa composição pode ser alterado para o esquema ESTRELA, onde o motor aumentará a força eletromotriz, reduzindo o KV e a velocidade final, adquirindo maior torque. Esse ultimo esquema pode ser feito unido os fios S1-S2-S3 em comum com estanho e soldando as fases nos fios E1,E2 e E3. As características originais do motor podem ser adquiridos com a ligação estrela se utilizar 4 fios AWG 33 com 11 espiras em cada polo.



http://www.aerogramacanoas.com.br/index.php?option=com_kunena&func=view&catid=16&id=198&Itemid=0



Dados Técnicos	ROV "Poseidon"
Classe	Explorador
Dimensões (mm)	575 L x 570 A x 650 C
Peso	12.6 Kg
Propulsores	6x (270 W, 2.25 Kg de empuxo cada)
Configuração	360° 6DOF
Profundidade	40m
Visão	HD
Sensores	<ul style="list-style-type: none">• IMU tri-axial• Sensores de Temperatura• Sensores de Infiltração• Sensor de Profundidade• Proteção térmica nos propulsores

