



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA

ENG633 - SISTEMAS MECATRÔNICOS

**Relatório I
Projeto Conceitual**

Professor:
Leizer Schnitman

Grupo:
Jailson dos Santos Junior
Maxwell Francisco da Silva
Rafael Santana Queiroz
Rosinery Rosária de Medeiros
Yuri de Matos Alves de Oliveira

Salvador

19 de Agosto de 2021

Conteúdo

1	Introdução	4
2	Metodologia	6
2.1	<i>Brainstorming</i>	7
2.2	Matriz QFD	8
2.3	Matriz Morfológica	8
2.4	Projeto Conceitual	8
3	Design	11
4	Validação de projeto	19
4.1	Módulos de simulação	19
4.2	Missões	21
	Referências	26

Listas de Figuras

2.1	Metodologia adotada para o projeto	6
2.2	Conceito inicial da solução	7
2.3	Conceito da solução após matriz morfológica	10
3.1	ROVs que inspiraram o design do BROV	11
3.2	Estrutura conceitual do BROV	12
3.3	Propulsor do BROV	13
3.4	Posicionamento dos thrusters	13
3.5	Prototipação do propulsor	14
3.6	Aquário para testes de propulsão e comunicação	14
3.7	Projeto conceitual da <i>housing</i> da câmera e seu controlador	15
3.8	Lanterna que será usada no BROV	16
3.9	Vista isométrica do BROV conceitual	16
3.10	Vista frontal do BROV conceitual	17
3.11	Vista lateral do BROV conceitual	17
3.12	Vista superior do BROV conceitual	18
4.1	Estrutura de programação de um nó acústico AUVNetSim	20
4.2	Missão de submersão e emersão	21
4.3	Missão de velocidade máxima e seguimento de trajetória	22
4.4	Missão de mapeamento	23
4.5	Missão de resgate da moeda	24

Lista de Tabelas

2.1	Matriz QFD	9
2.2	Matriz morfológica	10
4.1	Tabela comparativa de simuladores e suas funcionalidades	19

1 Introdução

A comunicação subaquática sem fio tem sido um tema de vasta pesquisa nos últimos anos por conta do interesse de exploração do ambiente marinho. Enquanto no ar a maioria dos sistemas de comunicação utiliza ondas de rádio ou espectro de espalhamento e posicionamento global [1], na água os sensores acústicos são os mais utilizados. Contudo, outras tecnologias de comunicação sem fio também são aplicáveis nesse ambiente, como ondas de radiofrequência (RF) e ondas óticas [2].

Os sensores acústicos possuem a vantagem de permitir uma comunicação de longo alcance, da ordem de 20 km. Em contrapartida, possuem baixa taxa de transmissão (da ordem de kbps), alta latência (da ordem de segundos), são relativamente pesados e caros, além de serem perigosos para certas espécies marinhas [2].

A comunicação subaquática por ondas RF permite uma transição suave entre a interface água/ar, sendo útil para integração com sistemas RF terrestres. Além disso, é menos suscetível às interferências decorrentes de turbulência e turbidez marinha, se comparada com a comunicação acústica e ótica. A principal limitação da aplicação de RF na água é o baixo alcance e o alto custo decorrente da necessidade da instalação de antenas [2].

A comunicação ótica sem fio subaquática (UOWC, do inglês *Underwater Optical Wireless Communication*) possui, dentre os métodos supracitados, a maior taxa de transmissão, a menor latência e o menor custo de implementação. Por outro lado, o sinal ótico é alterado por conta de absorção e dispersão, demanda alinhamento preciso dos transceptores e possui alcance moderado (da ordem de dezenas de metros) [2].

Diante desse cenário, o objetivo geral desse trabalho é implementar, em ambiente de simulação, algoritmos de comunicação embarcados em um veículo submarino remotamente operado (ROV, do inglês *Remotely Operated Underwater Vehicle*), que deverá ser projetado para realizar uma operação de resgate de um objeto qualquer.

Os objetivos específicos do trabalho são:

1. Projetar um ROV para atuação em uma missão de resgate, com requisitos de funcionamento pré-estabelecidos.
2. Desenvolver e implementar, em ambiente simulado, algoritmos de comunicação subaquática.

3. Simular comportamento dinâmico, localização, mapeamento, navegação e comunicação do ROV.

O escopo do trabalho está restrito à entrega de três relatórios, desenhos 3D e de fabricação e algoritmos desenvolvidos. A prototipação física, assim como testes experimentais do ROV em piscina ou mar estão fora do escopo desse trabalho.

A divisão dos relatórios será feita da seguinte maneira:

1. Relatório I - Projeto Conceitual
2. Relatório II - Projeto Detalhado
3. Relatório III - Resultados de Simulação

No Relatório I, que é este documento, será apresentada inicialmente uma análise de requisitos do sistema, matriz QFD (do inglês *Quality Function Deployment*) para obtenção dos requisitos de projeto e matriz morfológica para seleção preliminar dos tipos de componentes do protótipo a ser simulado. Posteriormente serão apresentados o projeto conceitual, o design proposto e as estratégias para validação do protótipo em ambiente simulado.

No Relatório II será apresentado o projeto detalhado, com especificação dos componentes e sistema, juntamente com um cronograma para execução das tarefas.

No Relatório III serão mostrados os resultados da simulação do protótipo atuando na missão de resgate.

2 Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos gerais e específicos do trabalho foram considerados catorze requisitos – dez funcionais e quatro desejáveis – pré-estabelecidos por um cliente fictício. Os requisitos estão listados abaixo:

Funcionais

1. Ser capaz de estabelecer comunicação com operador na superfície.
2. Ser capaz de submergir e emergir de forma controlada.
3. Ser capaz de se locomover em baixo d'água com uma velocidade de 2 m/s.
4. Ser capaz de seguir trajetória pré-estabelecida.
5. Ser capaz de mapear o leito submarino abaixo (angulação mínima de $\pm 10^\circ$).
6. Ser capaz de localizar no mapa um objeto pré-definido.
7. Ser capaz de se deslocar até uma coordenada (3D) ou objeto pré-definido.
8. Ser capaz de detectar “sinal de socorro” e se deslocar até a fonte emissora.
9. Ser capaz de transmitir dados, inclusive a localização (3D) em tempo real.
10. Ser capaz de armazenar o caminho percorrido para o cumprimento da missão.

Desejáveis

11. O protótipo deve suportar pressões correspondentes a pelo menos 10 mca.
12. O protótipo deve ser “bem montado” e “apresentável”.
13. Deve-se preservar aspectos de segurança na operação, resgate e manutenção.
14. Deve-se desenvolver IHM para monitoramento em tempo real.

A metodologia adotada para levantamento de ideias, ponderação de requisitos e seleção preliminar de componentes está descrita na Figura 2.1. As subseções a seguir detalham o que foi desenvolvido em cada etapa da metodologia.

Figura 2.1: Metodologia adotada para o projeto

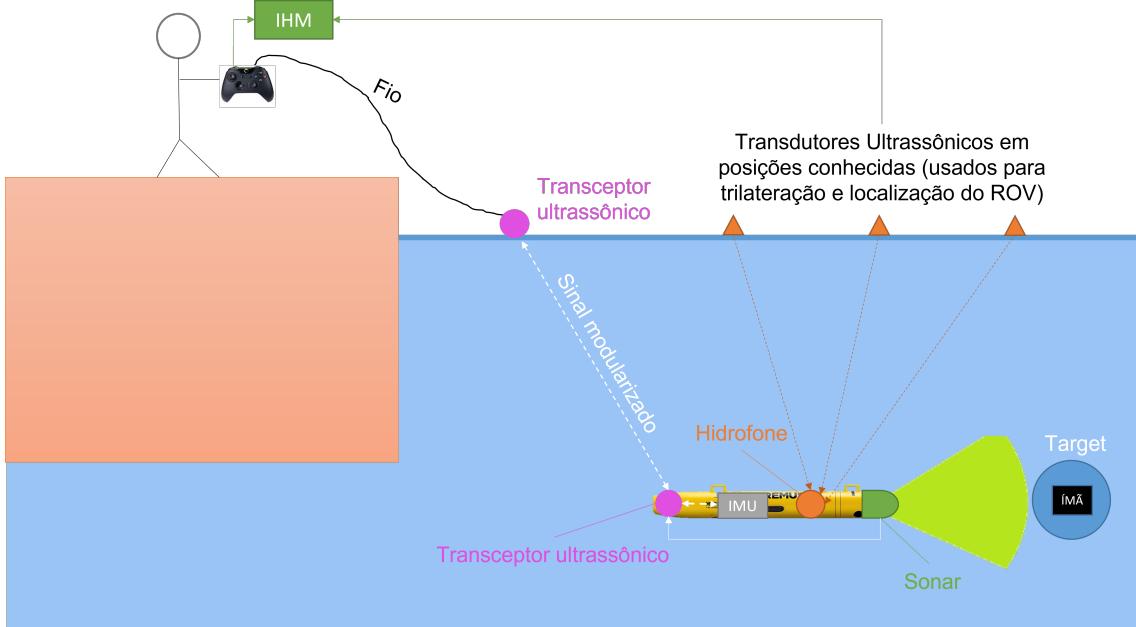


Fonte: Autores

2.1 Brainstorming

Na fase de *brainstorming* foram levantadas algumas soluções que poderiam atender ao maior número possível de requisitos. Ao término dessa etapa, a equipe chegou a um conceito inicial, que está mostrado na Figura 2.2.

Figura 2.2: Conceito inicial da solução



Fonte: Autores

Nesse conceito, o operador seria responsável por enviar comandos de deslocamento para um transceptor ultrassônico – que estaria dentro de uma bóia na superfície – através de um controle. O comando seria então convertido em um sinal modularizado para ser enviado ao transceptor ultrassônico presente no ROV. Em seguida, esse sinal seria decodificado e o ROV se deslocaria para a posição desejada.

A localização do ROV seria periodicamente monitorada por três transdutores ultrassônicos presentes na superfície da água, que atuariam como *ground-truth*, recebendo a informação de um hidrofone presente no ROV e calculando a localização por meio de trilateração. Essa informação seria então enviada para a interface homem-máquina (IHM) via cabo ou RF.

A medida em que o ROV se aproximasse do objeto de interesse – que estaria emitindo sinal acústico –, haveria uma amplificação do sinal do sonar embarcado,

que seria transmitido para o transceptor ultrassônico presente no ROV e enviado de volta para o operador. O objeto teria também um ímã para facilitar a captura e resgate.

O mapeamento do leito seria feito de modo *offline* por outros sensores ultrassônicos embarcados no ROV. O registro da trajetória também não seria feito em tempo real, mas de modo *offline* por meio do rastro calculado pela IMU (do inglês *Inertial Measurement Unit*).

2.2 Matriz QFD

Após obtenção de um conceito inicial, a equipe utilizou a Matriz QFD (do inglês *Quality Function Deployment*) para conversão das necessidades do cliente fictício em requisitos factíveis de projeto. Nessa etapa foram avaliadas as relações entre as necessidades e os requisitos, assim como as correlações dos requisitos entre si. Não foi feita uma análise de concorrentes. Ao término do preenchimento da QFD, cujo recorte está mostrado na Tabela 2.1, foi possível determinar a ordem de priorização dos requisitos. Os principais requisitos listados foram:

1. Comunicação *wireless*.
2. Localizar ROV.
3. Seguir trajetória pré-estabelecida.

2.3 Matriz Morfológica

A matriz morfológica, mostrada na Tabela 2.2, foi utilizada para seleção preliminar dos componentes e sistemas que viriam compor o ROV, de modo a solucionar cada requisito de projeto. Ao término do preenchimento da matriz morfológica, o conceito inicial sofreu alterações, como substituição e inclusão de novos sensores.

INSERIR ARGUMENTOS DA ESCOLHA DE CADA SENSOR DA MATRIZ MORFOLÓGICA.

2.4 Projeto Conceitual

INSERIR EXPLICAÇÕES DO PROJETO CONCEITUAL, SIMILAR AO PRESENTE NA SUBSEÇÃO DE BRAINSTORMING.

Tabela 2.1: Matriz QFD



Direção da Melhoria: Minimizar (▼), Maximizar (▲), Alvo (x)					X	X	X	X	X	X	X	X	X	▲
Número da linha	Máx. relacionamento na linha	Importância relativa (%)	Modelo Kano	Importância ou peso	Requisitos de projeto	Comunicação Wireless	Submergir e emergir de forma controlada	Seguir trajetória pré-estabelecida	Mapear leito	Localizar objeto	Localizar ROV	IHM	Suportar pressão	
1	9	16,1	M	5	Estabelecer comunicação com operador na superfície	○	○	○	▲	▲	▲	○	▲	
2	9	9,7	E	3	Submergir e emergir de forma controlada	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	
3	3	3,2	A	1	Velocidade mínima de 2 m/s	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
4	9	9,7	E	3	Seguir trajetória pré-estabelecida	○	▲	○	▲	▲	○	○	▲	
5	9	3,2	A	1	Mapear leito submarino	▲	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	
6	9	12,9	M	4	Localizar objeto	○	▲	○	▲	○	○	▲	▲	
7	9	12,9	M	4	Se deslocar até coordenada	○	○	▲	▲	▲	○	○	▲	
8	9	12,9	M	4	Detectar sinal de socorro	○	▲	▲	▲	○	▲	▲	▲	
9	9	16,1	M	5	Transmitir dados em tempo real	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
10	9	3,2	A	1	Armazenar o caminho	▲	▲	▲	▲	▲	○	▲	▲	
					Limite superior	-	200	29	3000	-	-	-	1230	
					Alvo	-	140	8	1000	-	-	-	37	
					Limite inferior	-	100	8	250	-	-	-	37	
					Dificuldade organizacional									
					Máx. relacionamento na coluna	9	9	9	9	9	9	9	1	
					Peso ou importância	551,6	241,9	351,6	125,8	229,0	358,1	312,9	100,0	
					Importância relativa	24,3	10,7	15,5	5,5	10,1	15,8	13,8	4,4	
					Ordem de atuação	1	5	3	7	6	2	4	8	

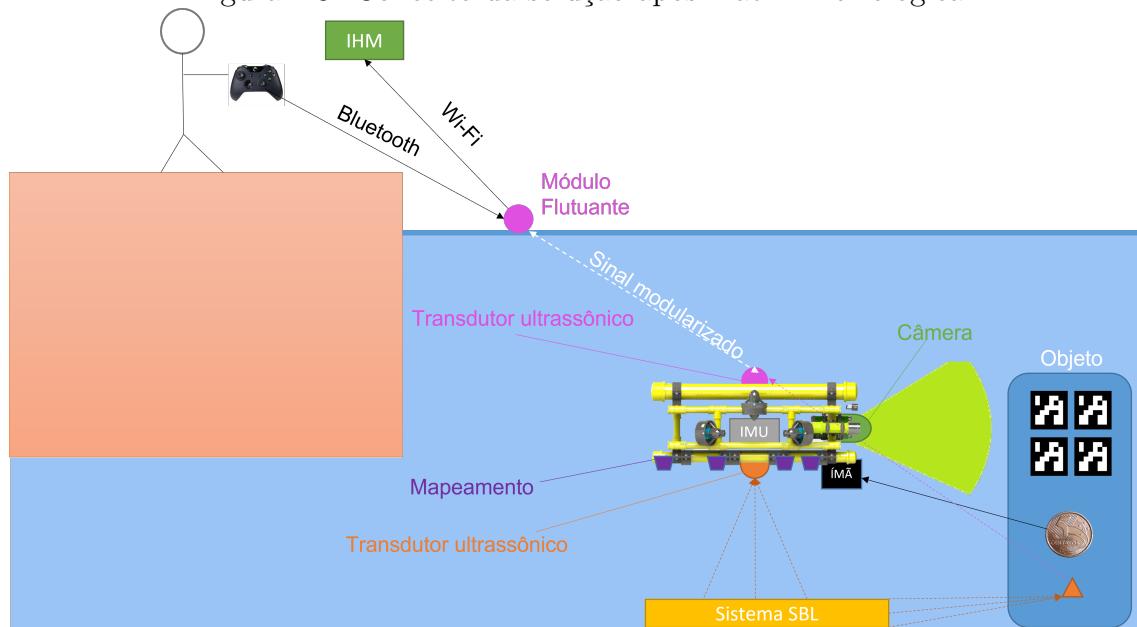
Fonte: Autores

Tabela 2.2: Matriz morfológica

Requisitos	Definição do problema	Soluções			
Comunicação Wireless com Operador e Detecção de Sinal de Socorro	Transmissão de Sinal em Meio Subaquático	Acústica		Óptica	Eletromagnética
Sub/Emersão Controlada e Locomoção em 4 DOF	Medição de Profundidade	Ultrassom apontado para superfície		Sensor de pressão	Câmera e objetos pré definidos
Seguir Trajetória Pré-estabelecida	Sistema de Propulsão	Bomba de Porão		Motor CC	Motor Brushless
Mapeamento de Leito	Controle de Posição	Controle PID cascata		Controle multivariável com base em modelo	Controle não linear
Localização de Objeto	Sensores para Mapeamento	Múltiplos Ultrassom		Câmera Stereo	Sonar
Localização do Veículo Submarino	Método de Localização de Objeto	Marco Artificial Passivo		Marco Artificial Ativo	Rede Neural e Visão Computacional
IHM	Técnicas	Trilateração (SBL)	Marcos Artificiais	Dead Reckoning	IMU
Suportar Pressão	API e Métodos de Criação de GUI	Qt Creator	Swing	WebDesign	
	Estruturas Possíveis	Tubular (PVC / Aço Inox)			Monocoque

Fonte: Autores

Figura 2.3: Conceito da solução apóis matriz morfológica



Fonte: Autores

3 Design

O design do protótipo foi concebido a partir das definições oriundas da matriz morfológica e também de inspirações de ROVs comerciais, como o *Seafox* e o *BlueROV2*, mostrados na Figura 3.1.

Figura 3.1: ROVs que inspiraram o design do BROV: *Seafox* (à esquerda) e *BlueROV2* (à direita)



Fonte: [3] e [4]

Para escolha do material da estrutura do BROV foram levados em consideração o baixo custo e a versatilidade para futuras integrações de novos sensores. Dessa forma, optou-se por utilizar estrutura tubular, como a do *Seafox*. O design conceitual da estrutura está mostrado na Figura 3.2.

Para a fixação da estrutura tubular entre si foram utilizados conectores do tipo “tê soldável” e “joelho 90°”, itens comerciais retirados do catálogo da Tigre® [5]. Nos casos em que não foi possível a união tubular através desses conectores, optou-se por utilizar peças impressas 3D em ABS, modeladas exclusivamente para esse fim, evitando-se uso de abraçadeiras metálicas e do tipo “enforca-gato”, que viriam a prejudicar a estética do ROV. Julgou-se necessário também a utilização de uma base (impressa 3D) para apoio e fixação dos mais diversos tipos de componentes, como *housings*, fios e acessórios. Parafusos e porcas de aço inoxidável austenítico 304 foram selecionados como elementos padrão de fixação.

No design do ROV também foi levado em consideração a versatilidade no controle da flutuabilidade. Os dois maiores tubos da parte superior podem acomodar um grande volume de espuma expansível, que possui baixa densidade, da ordem de 0,1 g/cm³. Caso os tubos não resistam aos esforços de pressão na profundidade

Figura 3.2: Estrutura conceitual do BROV



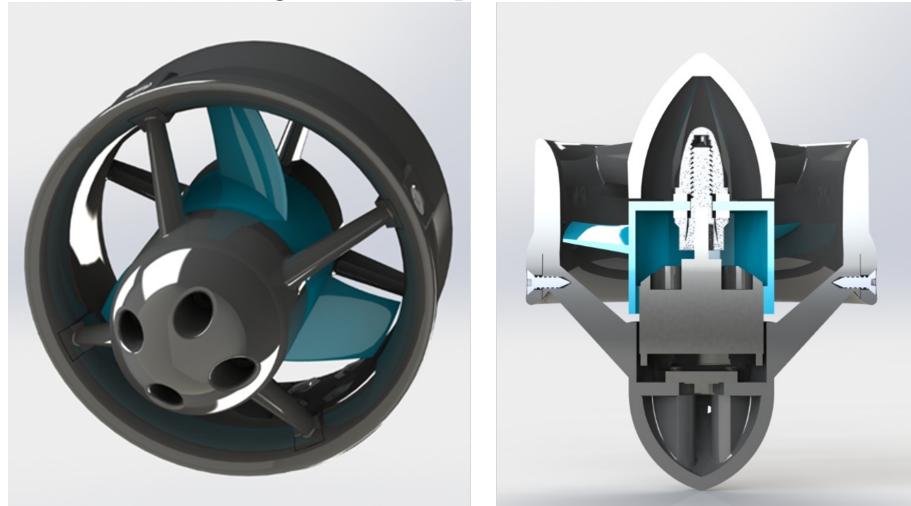
Fonte: Autores

especificada pelo projeto, a espuma poderá ser aplicada para evitar o colapso do tubo, ao mesmo tempo que favorecerá o empuxo se comparado com o preenchimento com água. De modo análogo, os tubos inferiores foram pensados para um eventual acréscimo discreto de massa – com bolas de gude, por exemplo – para ajuste da altura do centro de gravidade do protótipo. Os tubos menores, que compõem a parte central da estrutura, foram mantidos abertos para circulação de água.

O sistema de propulsão foi fortemente inspirado no *BlueROV2*, que é um ROV *open source* da empresa *BlueRobotics*. Algumas alterações em nível de escala, elementos de fixação e componentes do duto canalizador foram feitas em relação aos presentes no *BlueROV2*, de modo a tornar a montagem compatível com o motor *brushless A2212*, que será utilizado no projeto. A Figura 3.3 mostra o propulsor que será utilizado no BROV.

Os motivos pela escolha desse modelo de motor foram: não necessidade de selagem, facilidade de montagem, alto torque e baixo *lead time*. A alocação dos *thrusters*

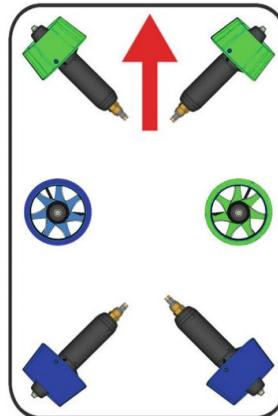
Figura 3.3: Propulsor do BROV



Fonte: Autores

– mostrada na Figura 3.4 – foi pensada de modo a obter o controle dos 3 graus de liberdade translacionais – *surge*, *sway* e *heave* – e de 2 rotacionais – *roll* e *yaw* [6].

Figura 3.4: Posicionamento dos thrusters

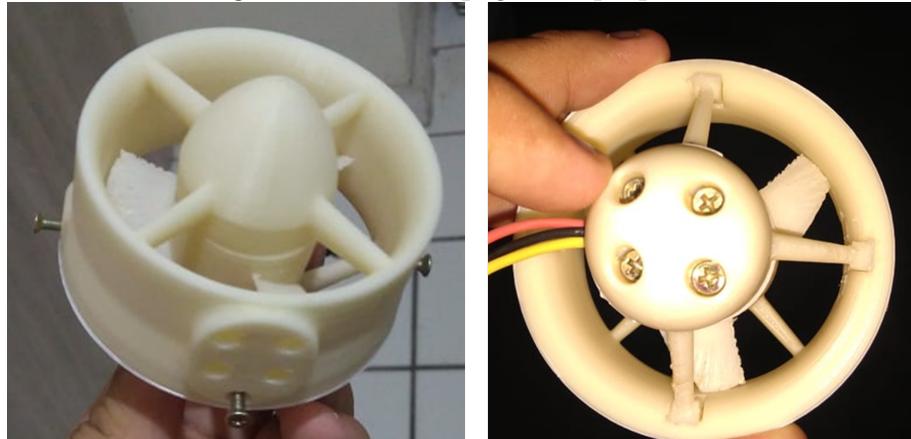


Fonte: [6]

No momento em que foi escrito esse relatório o propulsor se encontrava em fase de testes, tendo a hélice e demais acessórios sido fabricados em ABS, em uma impressora 3D, conforme indicado pela Figura 3.5. A próxima etapa a ser realizada para modelagem computacional do sistema de propulsão consiste no levantamento

da curva Corrente x Torque do motor através de testes em um aquário adquirido pela equipe, conforme indicado pela Figura 3.6, de modo que seja possível estimar o comportamento dinâmico do ROV quando submerso.

Figura 3.5: Prototipação do propulsor



Fonte: Autores

Figura 3.6: Aquário para testes de propulsão e comunicação

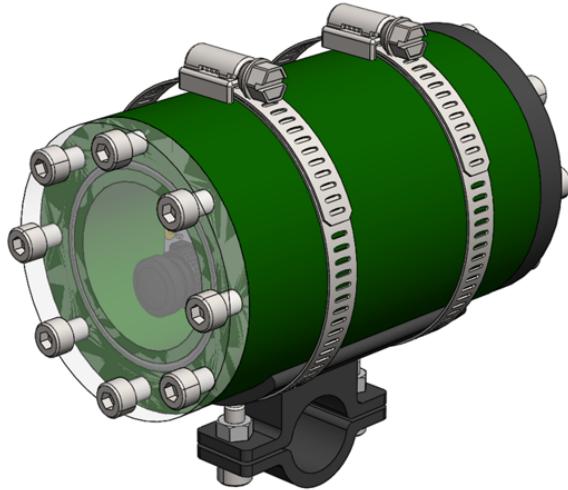


Fonte: Autores

Housings tiveram que ser projetadas para uma vedação confiável da câmera monocular juntamente com seu controlador, assim como dos componentes eletrônicos de controle – Arduino, IMU e bateria.

O corpo da *housing* da câmera foi concebido para ser impresso 3D, com um visor de policarbonato na parte frontal, comprimido com parafusos e vedado com *o-ring*. A fixação na estrutura se dará por meio do uso de abraçadeiras metálicas, de modo que seja permitida a sua rápida montagem e desmontagem, sem que haja nenhum tipo de perfuração. A Figura 3.7 mostra o projeto conceitual dessa *housing*. A outra *housing*, que acomodará os demais componentes eletrônicos e bateria, ainda está em desenvolvimento.

Figura 3.7: Projeto conceitual da *housing* da câmera e seu controlador



Fonte: Autores

Para prover iluminação na profundidade de 10 m, a equipe optou por utilizar uma solução de mercado já pronta: uma lanterna de pesca à prova d'água de baixo custo com fonte de alimentação própria, mostrada na Figura 3.8.

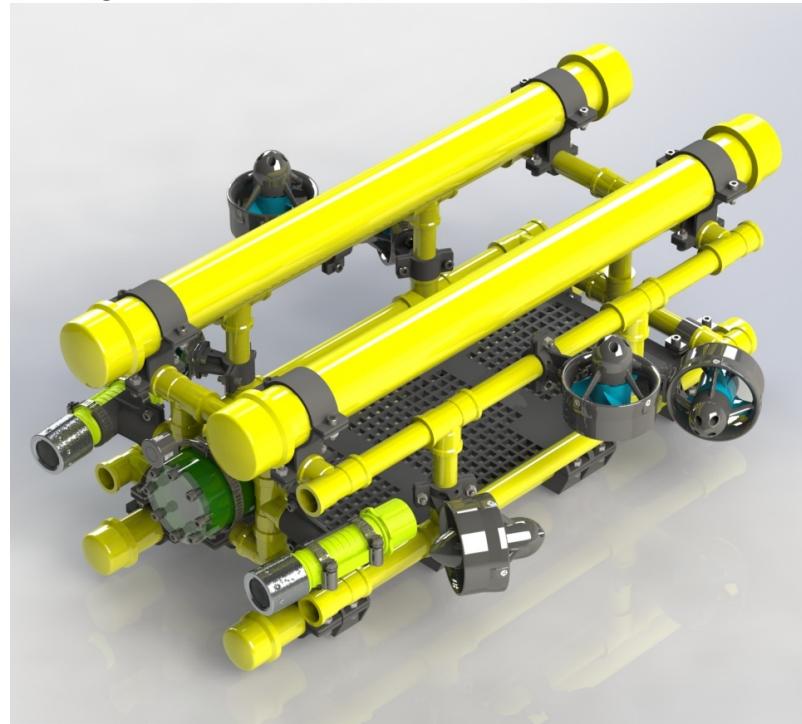
Além dos componentes mencionados acima, também serão acomodados no BROV sensores de ultrassom para mapeamento e comunicação. Todos esses itens estão representados nas vistas de montagem das Figuras 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12.

Figura 3.8: Lanterna que será usada no BROV



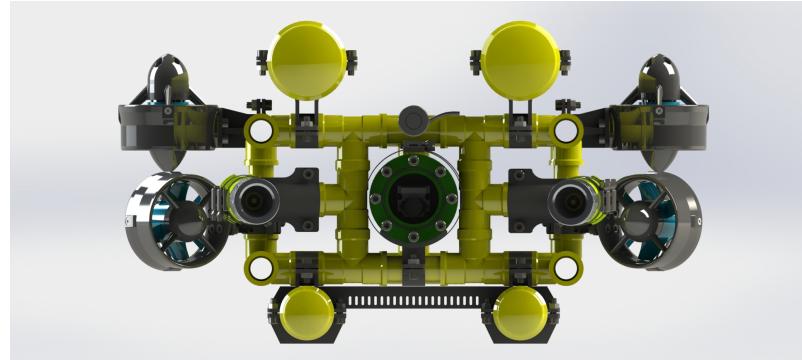
Fonte: Banggod

Figura 3.9: Vista isométrica do BROV conceitual



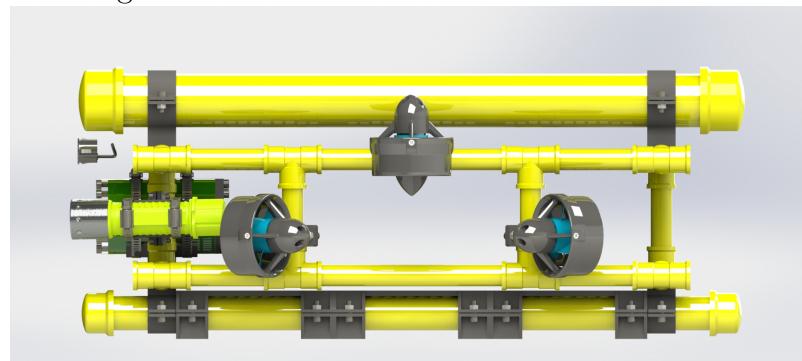
Fonte: Autores

Figura 3.10: Vista frontal do BROV conceitual



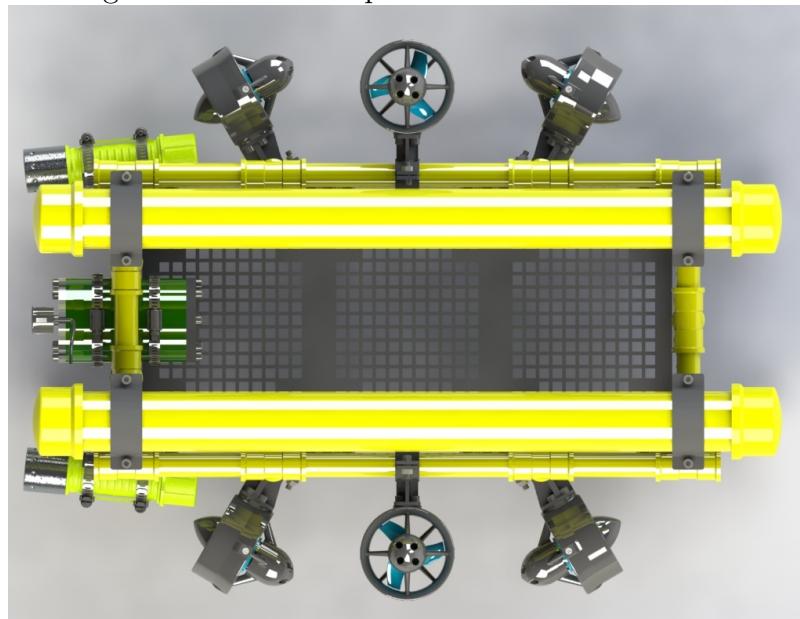
Fonte: Autores

Figura 3.11: Vista lateral do BROV conceitual



Fonte: Autores

Figura 3.12: Vista superior do BROV conceitual



Fonte: Autores

4 Validação de projeto

Nessa seção será discutido como a simulação deve ser realizada para validação dos requisitos de projeto, assim como a configuração do ambiente virtual submarino.

4.1 Módulos de simulação

A simulação fidedigna de um veículo submarino deve contar com a simulação dos atuadores, sensores e da física de corpo rígido debaixo d'água. Com o objetivo de obter uma simulação que incluísse todos esses tópicos, algumas soluções de *software* disponíveis serão adotas e algumas desenvolvidas, como está descrito a seguir.

Sensores, atuadores e física

A função de simular o comportamento de um robô no meio com seus sensores e atuadores é tarefa de um simulador de robótica. A Tabela 4.1 mostra as alternativas de simuladores que possuem funcionalidades essenciais para validação de um robô submarino. Dentre as cinco alternativas apresentadas, três delas utilizam o simulador Gazebo [7]: UWSim (do inglês *Underwater Simulator*), UUV (do inglês *Unmanned Underwater Vehicle Simulator*) e USVSim (do inglês *Unmanned Surface Vehicle Simulator*). Dentre esses, o USVSim é o mais completo, pois dispõe de quase todas as funcionalidades analisadas.

Tabela 4.1: Tabela comparativa de simuladores e suas funcionalidades

Simulator	Hydrodynamics	Hydrostatics	Thruster	Fins	Pressure Sensor	GPS	DVL	Realistic Rendering	Contact Dynamics	Wind	Waves	Water Currents
UWSim	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓, osgOcean	✓	✗	✓	✗
UUV	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Stonefish	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓, custom	✓	✓	✓	✓
URSim	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓, Unity	✗	✗	✓	✗
USVSim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓

Fonte: [8]

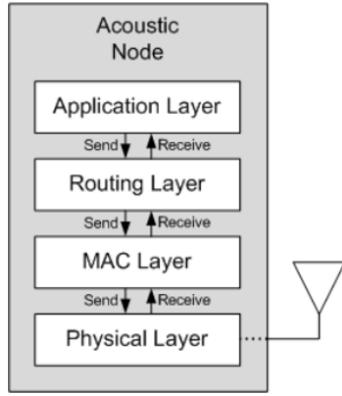
Recentemente, a Open Robotic lançou o Ignition, um novo simulador de robótica que substituirá o Gazebo. Pelo fato desse simulador incorporar todas as funcionalidades descritas na Tabela 4.1, ele foi selecionado para ser o *software* de simulação. Ademais, no Ignition é possível carregar um ambiente submarino 3D e o veículo, sendo possível visualizar, mas também obter dados simulados de sensores, controlar motores e simular a interação do robô com o ambiente ao seu redor.

Comunicação

Apesar do Ignition possibilitar a simulação dos motores e sensores do veículo, a simulação da comunicação por meio sensor acústico é uma funcionalidade que não consta no *software*. Portanto, serão desenvolvidos *plugins* para o *software* que simulam as peculiaridades desse tipo de sensor. Os *plugins* devem simular atraso da onda sonora na água, ruído e atenuação.

Para simular a comunicação, foi escolhida preliminarmente a biblioteca AUVNetSim [13], que contém uma grande variedade parâmetros e protocolos para redes acústicas subaquáticas. Na simulação de cada nó acústico nessa biblioteca, a comunicação é realizada por troca de mensagens curtas entre as camadas que podem ser configuradas na ordem descrita na Figura 4.1.

Figura 4.1: Estrutura de programação de um nó acústico AUVNetSim



Fonte: [13]

Outros ferramentas disponíveis no mercado fornecem mais funcionalidades do que a AUVNetSim, como a Network Simulator (NS-3), a SUNSET ou a Aqua-Sim [9]. Contudo, AUVNetSim foi selecionada por ser de código aberto, possuir manual de utilização e ser de fácil integração e manutenção [13].

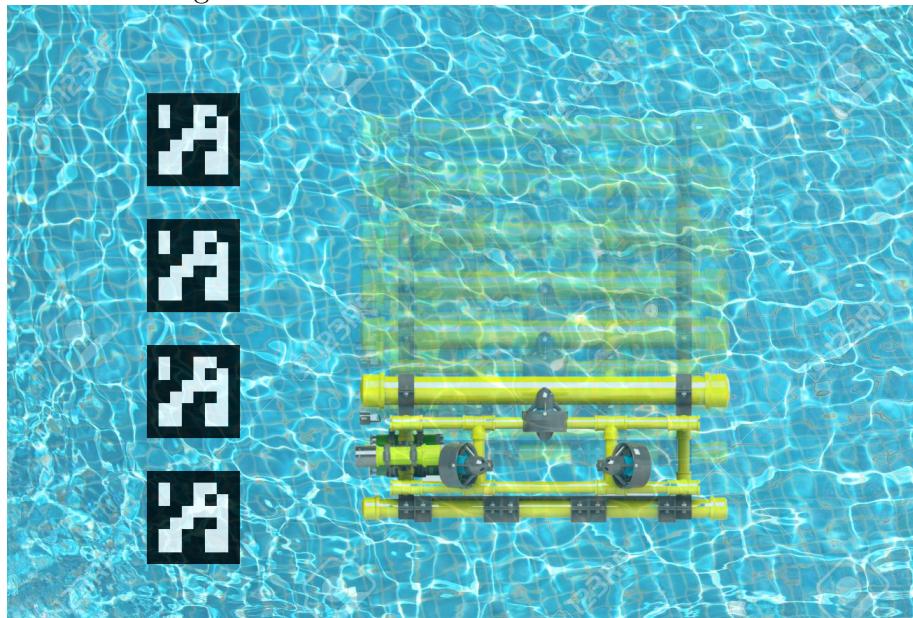
De forma a simular a comunicação com o protótipo, a AUVNetSim será integrada com o *framework* ROS (do inglês *Robot Operating System*). Do mesmo modo, ainda serão estudados, avaliados e testados outros protocolos propostos na literatura com o propósito de se obter uma configuração satisfatória e que se aproxime do mundo real na simulação.

4.2 Missões

Submersão e emersão controlada

Essa missão consiste em submergir e emergir o ROV a uma determinada profundidade, como pode ser visto na Figura 4.2. Esse procedimento será executado tanto com controle manual de velocidade, como também com controle automático, no qual o ROV se desloca ao longo de um caminho previamente estabelecido. Além disso, Arucos serão posicionados ao longo de todo o trajeto para obtenção de uma medição mais precisa de profundidade.

Figura 4.2: Missão de submersão e emersão



Fonte: Autores

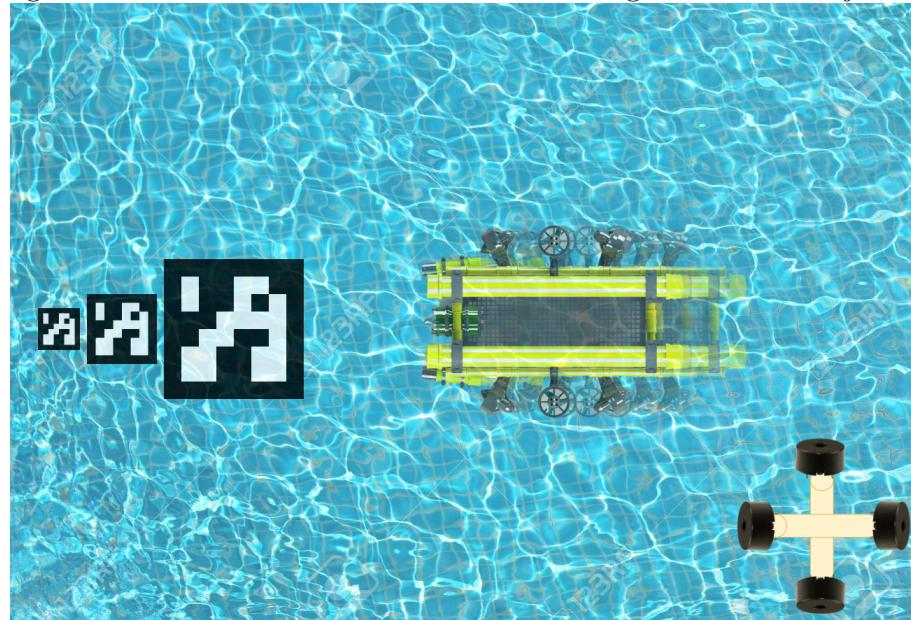
Dessa forma, os requisitos 2, 6 e 7 (apresentados na Seção 2) seriam validados, visto que, para a execução dessa tarefa, o ROV deve ser capaz de ir para uma posição previamente conhecida, localizar os Arucos e submergir e emergir de forma controlada.

Teste de velocidade e trajetória circular

O requisito 3 determina a velocidade máxima que o veículo deve atingir. Então, é necessário que haja algum teste em que os motores do veículo operem na máxima capacidade de modo a se verificar se a velocidade determinada pode ser alcançada. O ROV foi projetado para ter mais velocidade em *surge*, de forma a se deslocar mais rápido ao se mover para frente. Nesse contexto, o teste de velocidade consiste em colocar a referência de velocidade no seu valor máximo e medir a velocidade de deslocamento do ROV nesse trecho, porém essa medição é pouco precisa com a configuração de sensores atuais.

Portanto, para medir a velocidade, serão posicionados Arucos de diferentes tamanhos e o sistema de SBL. A configuração do ambiente de teste pode ser observada na Figura 4.3.

Figura 4.3: Missão de velocidade máxima e seguimento de trajetória



Fonte: Autores

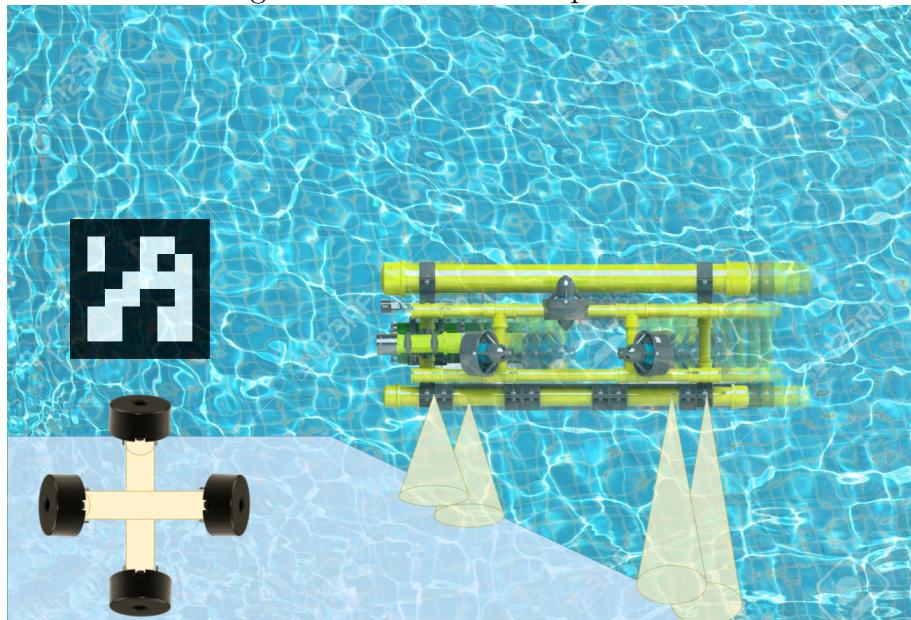
Outra missão que será executada nessa mesma configuração é a execução de uma trajetória circular, para validação dos requisitos 4, 6 e 7. Ao se executar a trajetória circular, mantendo-se a profundidade e mantendo-se os Arucos no campo de visão da câmera, pode-se usar o armazenamento da trajetória para validar se o requisito

de seguir uma trajetória realmente foi cumprido.

Mapeamento de rampa

A validação do requisito 5, que se refere ao mapeamento do leito marinho, pode ser feito através da utilização de um terreno conhecido. Então, propõe-se aqui a execução do simples mapeamento de uma rampa. Caso a inclinação da rampa seja semelhante ao do mapeamento, pode-se afirmar que o sistema funciona. O mapeamento não será muito detalhado, visto que irá se adquirir somente informação de 4 pontos, medidos com sensores de distância ultrassom abaixo do ROV. Portanto, um cenário simples como uma rampa é adequado para validação. Além disso, também se necessita do Aruco para posicionamento do ROV, como mostra a Figura 4.4.

Figura 4.4: Missão de mapeamento



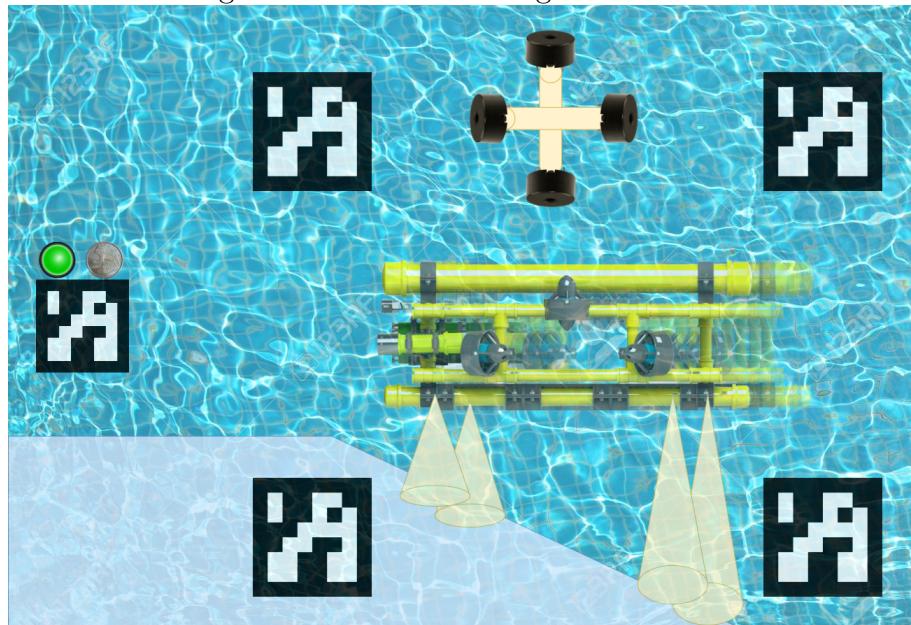
Fonte: Autores

Resgate da Moeda

O requisito 8 determina que o ROV deve ser capaz de atender um pedido de socorro. Para a validação desse requisito, o BROV deve localizar a caixa de resgate, representada pelo aruco mais à esquerda da Figura 4.5. Além disso, deve esperar o

led presente na caixa acender, para, a partir daí, se aproximar e capturar a moeda com seu imã e retornar a superfície. Esse teste não só valida o requisito 8, mas como todos os citados anteriormente. Para esse teste, tanto a localização por Aruco como a por SBL serão utilizados.

Figura 4.5: Missão de resgate da moeda



Fonte: Autores

Referências

- [1] Liam Paull, Sajad Saeedi, Mae Seto, and Howard Li. AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1):131–149, 2014.
- [2] Obaid Ur-Rehman and Natasa Zivic. Wireless communications. *Signals and Communication Technology*, 19(1):7–21, 2018.
- [3] Carlos R Rocha, Rogério M Branco, Lais A Cruz, Marcos V Scholl, Matheus M Cezar, and Felipe D Bicca. Design Aspects Of An Open Platform For Underwater Robotics Experimental Research. (June 2016), 2014.
- [4] Blue Robotics. BlueROV2.
- [5] Tigre. Ficha Técnica - Linha Roscável, 2009.
- [6] Gianluca Antonelli. *Underwater Robots Fourth Edition*. Springer International Publishing AG, 4th edition, 2018.
- [7] Nathan Koenig and Andrew Howard. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566)*, volume 3, pages 2149–2154. IEEE.
- [8] Jack Collins, Shelvin Chand, Anthony Vanderkop, and David Howard. A review of physics simulators for robotic applications. *IEEE Access*, 9:51416–51431, 2021.
- [9] Geeta Godi et al. Survey on simulators for underwater sensor networks. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(13):1719–1728, 2021.
- [10] Ian F Akyildiz, Dario Pompili, and Tommaso Melodia. Underwater acoustic sensor networks: research challenges. *Ad hoc networks*, 3(3):257–279, 2005.

- [11] A Shantaram, H Beyenal, R Veluchamy, and Z Lewandowski. The challenges of building scalable mobile underwater wireless sensor networks for aquatic applications. *Environ. Sci. Technol.*, 39:5037–5042, 2005.
- [12] Anjana P Das and Sabu M Thampi. Simulation tools for underwater sensor networks: a survey. *Network protocols and Algorithms*, 8(4), 2016.
- [13] Josep Miquel Jornet Montana. Auvnetsim: A simulator for underwater acoustics networks. Technical report, Massachusetts Institute of Technology. Sea Grant College Program, 2008.