



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**LAGEMAR**

**GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA  
PROJETO FINAL II**

**BRUNO HEINEN BRAGA**

**AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES:  
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES**

**NITERÓI**

**2014**

BRUNO HEINEN BRAGA

AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES:  
DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES

Dissertação apresentada como trabalho de conclusão de curso submetido ao programa de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em geofísica.

Orientador:

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto

NITERÓI

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

BRUNO HEINEN BRAGA

**Banca Examinadora:**

---

**Profª. Drª. Eliane da Costa Alves**

---

**Prof. Dr. Gilberto Tavares de M. Dias**

---

**Prof. Dr. José Antonio Baptista Neto**

**NITERÓI**  
**2014**

## Resumo:

O trabalho em questão tem enfoque em uma das mais modernas tecnologias aplicáveis nos estudos geofísicos, os AUVs, ou *Autonomous Underwater Vehicles* (Veículos Subaquáticos Autônomos).

No desenvolvimento do trabalho é brevemente contada a história, desde a invenção do primeiro veículo que pode ser considerado um AUV até os mais modernos e atuais. Alguns pontos como os sistemas de comunicação mais comuns, características das estruturas, opções de fontes de energia e propulsão são objetivamente abordados a fim de preencher a lacuna teórica e detalhar um pouco mais o universo dos veículos em questão.

É dada maior ênfase acerca dos principais métodos de navegação e posicionamento, bem como nos diferentes sensores que podem ser empregados através dos AUVs.

Na parte final do trabalho são apresentados alguns modelos de veículos disponíveis atualmente no mercado com suas características individuais. Posteriormente são descritos e discutidos estudos de caso mostrando algumas das aplicações onde os AUVs podem ser extremamente úteis.

Palavras-chave: AUV. Veículo. Autônomo. Subaquático. Pesquisa. Desenvolvimento. Aplicações.

## **Abstract:**

This paper has a focus on one of the most modern technologies applied currently in geophysical surveys, the AUVs, or Autonomous Underwater Vehicles.

During this work the history is briefly told, from the invention of the first vehicle that can be considered an AUV to the most modern and current. Some points as the most common communication systems, characteristics of structures, sources of energy and propulsion options are objectively addressed in order to fill the theoretical gap and detail a little more the universe of the vehicles in question.

Greater emphases are given on the main methods of navigation and positioning, and the various sensors that can be employed through the AUVs.

In the final part of the work some vehicle models available on the market today are presented with their individual characteristics, and subsequently some case studies are described and discussed showing some of the applications where the AUVs can be extremely useful.

Keywords: AUV. Vehicle. Autonomous. Underwater. Research. Development. Applications.

## **Agradecimentos:**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Claudia e Rogerio, pela confiança e pelo apoio incondicional, e à minha futura esposa Rhaissa pela força que me transmitiu durante toda essa caminhada, sem vocês nada disso seria possível. Não posso esquecer do meu primo-irmão Vítor, pelas horas de papo e pelas diversas sociedades que nunca saíram do papel e ao meu tio Marcos pelos conselhos e puxões de orelha que sempre me mostraram o melhor caminho a seguir.

Gostaria de agradecer também aos amigos, Fabricio Ornellas, João Muniz, João Bruno e Bruno Bourguignon, por juntos termos formado uma família que fez desses 5 anos longe de casa muito mais fáceis e à todo o corpo docente da UFF pela atenção e dedicação, especialmente ao professor Arthur Ayres por ter aceito o desafio de me orientar, ao professor Alex Motta Borges por continuar acreditando em mim nos momentos que eu mais precisei e aos professores Gilberto, José Antonio, Marco Cetale e Eliane por terem aceito o convite para fazer parte das comissões de avaliação dos meus projetos finais. Sem esquecer da Ana Paula da secretaria por toda paciência, simpatia e eficiência.

## Sumário

<b>Resumo:</b> .....	<b>4</b>
<b>Abstract:</b> .....	<b>5</b>
<b>Agradecimentos:</b> .....	<b>6</b>
<b>Índice de imagens:</b> .....	<b>9</b>
<b>Índice de tabelas:</b> .....	<b>12</b>
<b>1. Introdução:</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Objetivo:</b> .....	<b>15</b>
<b>3. História:</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Fontes de energia:</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Navegação:</b> .....	<b>25</b>
a. Navegação estimada: .....	27
b. Navegação inercial e efeito Doppler: .....	27
c. Navegação acústica:.....	28
i. LBL:.....	29
ii. USBL: .....	30
<b>6. Propulsão:</b> .....	<b>31</b>
<b>7. Comunicação:</b> .....	<b>32</b>
<b>8. Estrutura:</b> .....	<b>32</b>
<b>9. Sensores:</b> .....	<b>38</b>
a. <i>Side scan sonar</i> : .....	38
b. Ecobatímetro multifeixe: .....	40
c. <i>Sub-bottom profiler</i> :.....	43
d. Câmera de vídeo: .....	43
e. <i>Conductivity, Temperature, and Depth sensor (CTD)</i> : .....	44
<b>10. Equipamentos:</b> .....	<b>45</b>
a. Portáteis (até 100 kg):.....	45
i. Bluefin-9.....	45
ii. ECA Alister 9:.....	47
iii. Gavia Defense .....	48

iv.	Iver3 Nano .....	52
v.	WHOI Remus 100 .....	53
b.	Grande porte (acima de 100 kg): .....	54
i.	Bluefin-21:.....	54
ii.	Alister 18:.....	56
iii.	Remus 6000:.....	58
<b>11.</b>	<b>Estudos de caso:.....</b>	<b>59</b>
a.	Indústria do Petróleo:.....	59
b.	Indústria da pesca:.....	61
c.	Monitoramento ambiental:.....	65
d.	Militar:.....	69
e.	Detecção de destroços:.....	73
<b>12.</b>	<b>Conclusão:.....</b>	<b>80</b>
<b>13.</b>	<b>Referências Bibliográficas: .....</b>	<b>81</b>



## Índice de imagens:

Figura 1: Representação da utilização de um AUV.....	14
Figura 2: Whitehead Automobile “Fish” Torpedo.....	16
Figura 3: AUV Odyssey do MIT. ....	17
Figura 4: Autonomous Benthic Explorer (ABE) da Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI). ....	18
Figura 5: Theseus desenvolvido pela International Submarines Engineering Ltd.....	19
Figura 6: AUV Remus.....	20
Figura 7: Autosub desenvolvido pelo Southampton Oceanography Center.....	21
Figura 8: Hugin 3000. ....	22
Figura 9: Representação da utilização de dois AUV com uma embarcação de suporte.....	26
Figura 10: Thruster, principal sistema de propulsão utilizado nos AUVs. ....	31
Figura 11: Foto da parte traseira de um AUV com seu sistema de propulsão.....	32
Figura 12: Foto mostrando a estrutura modular do veículo. ....	33
Figura 13: Imagem que mostra alguns dos diferentes módulos que podem ser combinados nos AUVs.....	34
<i>Figura 14: Exemplo de um dos módulos que compõem os AUVs, nesse caso, um sub-bottom profiling da Teledyne Gavia.....</i>	<i>35</i>
Figura 15: Offsets dos instrumentos do Hugin 1000.....	37
Figura 16: Esquema que mostra a utilização do side scan sonar.....	38
<i>Figura 17: Navio localizado pelo side scan sonar. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18: Imagem do side scan sonar (900 kHz).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 19: Imagem do side scan sonar (1800 kHz).....</i>	<i>40</i>
Figura 20: Ilustração da utilização do ecobatímetro multifeixe. ....	41
<i>Figura 21: Exemplo de plano de linhas para o levantamento com o ecobatímetro. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 22: Dado adquirido, processado e com contornos. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 23: Dados adquiridos, processados e plotados sem contornos.....</i>	<i>42</i>
Figura 24: Visualização dos dados de sub-bottom profiler. ....	43
<i>Figura 25: Exemplo de fotografia colorida da cordilheira meso-oceânica.....</i>	<i>44</i>
Figura 26: Imagem com a indicação do local onde fica acoplado o CTD, no corpo do AUV. ....	45
Figura 27: Bluefin-9 .....	46
<i>Figura 28: O Bluefin-9 pode ser facilmente lançado e recuperado utilizando um bote inflável. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 29: Imagem do side scan sonar mostra uma embarcação naufragada. ....</i>	<i>47</i>
Figura 30: Alister 9.....	47

Figura 31: Imagens das telas de controle e aquisição do Alister 9. ....	48
Figura 32: Gavia Defense. ....	48
Figura 33: Imagem do lançamento do Gavia Defense, a partir de uma embarcação de pequeno porte.....	49
<i>Figura 34: Imagem adquirida com o side scan (900 kHz) do que parece ser uma mina.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35: Imagem capturada através da câmera de vídeo do que parece ser uma mina.</i> .....	<i>50</i>
<i>Figura 36: Na esquerda, o Northrop N-3PB. Na direita, imagem do alvo adquirida com o batímetro multifeixe.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 37: Na esquerda, imagem do alvo adquirida com o side scan sonar de 1800 kHz. Na direita, detalhes do alvo vistos através do sistema de câmeras do Gavia. ....</i>	<i>51</i>
Figura 38: Iver3 Nano .....	52
<i>Figura 39: Lançamento. Mostra a portabilidade do equipamento. ....</i>	<i>52</i>
Figura 40: Remus 100 .....	53
Figura 41: Bluefin-21.....	54
<i>Figura 42: Bluefin-21 no deck do navio. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 43: Imagem das marcas de arrasto de âncoras adquiridas com o side scan sonar do Bluefin-21. ....</i>	<i>55</i>
Figura 44: Alister 18.....	56
<i>Figura 45: Na esquerda, dados de ecobatímetro multifeixe. Na direita, a tela do painel para supervisão do veículo. ....</i>	<i>57</i>
Figura 46: Alister 18 Twin .....	58
Figura 47: Remus 6000 .....	58
<i>Figura 48: Uma composição das seções geradas pelo Autosub-1. Sendo o transdutor de 120 kHz orientado para cima (imagem superior) e o de 38 kHz para baixo (imagem superior). Observam-se quatro concentrações próximas ao fundo que provavelmente são cardumes de arenque [16]. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 49: Uma visão esquemática do Autosub-2 equipado com o ecobatímetro multi-freqüências Simrad EK500 para levantamentos acústicos sobre a fauna aquática. ....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 50: Modelo sólido do Stingray e na água acompanhado de um mergulhador ..</i>	<i>66</i>
<i>Figura 51: Casco de fibra de carbono e Stingray finalizado com a tampa aberta. ....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 52: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia verde. ....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 53: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia amarela. ....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 54: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia vermelha.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 55: Tarefa realizada pelo Vision para determinar a localização e a orientação de dois dutos.....</i>	<i>69</i>

<i>Figura 56: À esquerda uma foto do KNM Karmøy, à direita o HUGIN I no deck do KNM Karmøy momentos antes do lançamento.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 57: Imagem do projeto do HUGIN Mine Reconnaissance System AUV.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 58: Imagens do side scan sonar do HUGIN I. À esquerda uma mina no fundo marinho a aproximadamente 50 metros de distância e à direita um pequeno barco naufragado (aproximadamente 20x5 metros). Lâmina d'água de 180-200m, altitude 15m. ....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 59: Dados batimétricos coletados durante duas missões do HUGIN I na Noruega. Lâmina d'água de 20-120 metros, contornos cinzas 1 metro, contornos brancos 5 metros. À esquerda a área completa (aproximadamente 500x4000 m) e à direita imagem detalhada mostrando o perfeito alinhamento entre as 8 linhas do AUV.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 60: Local do último contato e desaparecimento dos radares, sobre o Golfo da Tailândia.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 61: Áreas iniciais de buscas definidas entre 9 e 11 de março.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 62: O Estreito de Malaca, sobre o qual o voo foi detectado por radares militares, cerca de uma hora depois do último contato.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 63: Área onde teoricamente o avião poderia ser encontrado.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 64: Os corredores norte e sul, onde se concentraram as buscas a partir de 16 de março.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 65: O equipamento Towed pinger locator.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 66: O AUV Bluefin 21 sendo lançado para sua primeira missão, em 14 de abril.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 67: Batimetria da área de busca do voo MH370. As linhas tracejadas marcam a zona aproximada de onde foram emitidos os pings que podem ter sido emitidos pelas caixas pretas. O primeiro contato do sonar foi detectado por navio chinês no ponto “B” onde a menor profundidade é estimada em 1637 metros no ponto “S”. O segundo contato do sonar foi recebido por uma embarcação australiana e está sinalizada pelo círculo vermelho e o ponto mais profundo na área está marcado pelo “D”, é a zona de fratura Wallaby-Zenith e a profundidade estimada é de 7883 metros. Na parte superior esquerda está mostra a localização da área a oeste da Austrália [31].....</i>	<i>78</i>

## Índice de tabelas:

Tabela 1: Resumo da história cronológica do desenvolvimento dos AUVs. ....	22
Tabela 2: Tabela com a comparação energética entre baterias e células de combustível. .....	25
Tabela 3: Tabela com os offsets da estrutura de um AUV. ....	36
Tabela 4: Especificações técnicas do Bluefin-9. ....	46
Tabela 5: Especificações técnicas do Alister 9.....	48
Tabela 6: Especificações técnicas do Gavia Defense. ....	51
Tabela 7: Especificações técnicas do Iver3 Nano. ....	52
Tabela 8: Especificações técnicas do Remus 100. ....	54
Tabela 9: Especificações técnicas do Bluefin-21. ....	56
Tabela 10: Especificações técnicas do Alister 18.....	57
Tabela 11: Especificações técnicas do Remus 6000. ....	59
Tabela 12: Alguns modelos de AUV que podem ser utilizados na pesca. ....	64

## 1. Introdução:

Os veículos autônomos subaquáticos (tradução do inglês *Autonomous Underwater Vehicles* ou AUVs) são dispositivos robóticos guiados através da água por seu próprio computador de bordo que controla sistemas de propulsão e sensores tornando-os capazes de completar missões com o mínimo ou até mesmo sem qualquer intervenção humana. Capazes de ser manobrados em três dimensões, esses veículos seguem precisamente trajetórias pré-programadas enquanto os sensores acoplados aos seus corpos coletam informações variadas, de alta qualidade, sobre o meio em que viajam (Chryssostomidis, C., Schmidt, H., 2006).

Os AUVs fazem parte de um grande grupo de sistemas submarinos conhecidos como veículos subaquáticos não tripulados (do inglês *Unmanned Underwater Vehicles* ou UUVs), grupo este que conta também com submarinos não autônomos como os veículos subaquáticos controlados remotamente (do inglês *Remotely Operated Underwater Vehicles* ou ROVs), que por sua vez são controlados e alimentados a partir da superfície através de um cabo chamado cordão umbilical ou através de controles remotos. Um terceiro grupo de submersíveis não tripulados é conhecido também pelo acrônimo UUV, mas dessa vez significando veículos subaquáticos sem cabos (uma tradução livre do inglês *Unmanned Untethered Vehicles*) que apresentam suas próprias fontes de energia mas são controlados por operadores através de algum tipo de conexão (Blidberg, R).

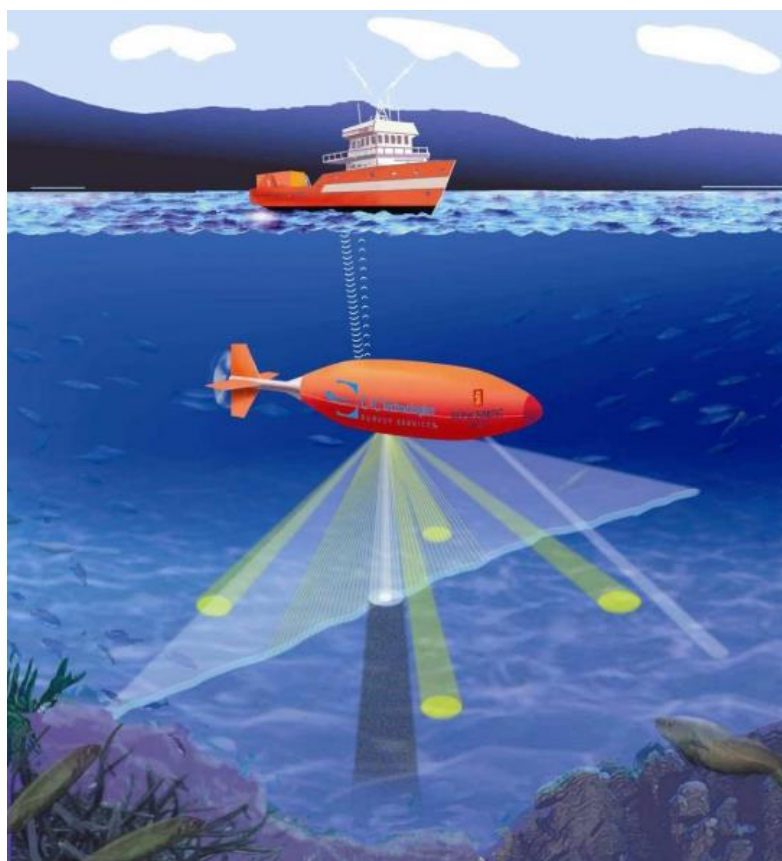
Centenas de diferentes tipos de AUVs foram construídos nas últimas 5 décadas, mas somente algumas empresas apresentam produções em quantidades significativas. Esses veículos variam desde AUVs portáteis, capazes de ser carregados por pessoas, mais comuns em projetos de pesquisa universitária, até AUVs de 10 ou mais metros de comprimento, vistos pelas grandes empresas como mais robustos e capazes de enfrentar os grandes desafios impostos pelos oceanos.

Os AUVs carregam sensores que os tornam capazes de navegar autonomamente e de mapear as feições oceânicas. Dentre esses sensores estão bússolas, sensores de profundidade, sonares diversos e magnetômetros. Eles são capazes de navegar utilizando sistemas acústicos de posicionamento subaquático como LBL (sigla para *Long Baseline Navigation System*), USBL (*Ultra-short Baseline Navigation System*) ou SBL (*Short Baseline Navigation System*) e o sistema de

propulsão mais utilizado é o de hélices ou *Thrusters*. A maior parte dos AUVs atuais utilizam baterias recarregáveis implementadas com sistemas de gerenciamento como fonte de energia.

Até bem pouco tempo atrás a quantidade de tarefas realizadas pelos AUVs era bastante limitada por conta da tecnologia disponível. Com o desenvolvimento de processadores mais avançados e suprimentos de energia mais potentes essas tarefas tem se tornado cada vez mais desafiadoras.

As indústrias de petróleo e gás utilizam essa tecnologia na confecção de mapas detalhados do fundo marinho que possibilitam a construção de infraestruturas submarinas com menores custos e riscos ao meio ambiente, além de ser possível realizar levantamentos precisos em áreas onde a batimetria tradicional seria pouco efetiva ou muito dispendiosa. Missões militares, pesquisas científicas, localização de destroços e até lazer são algumas outras aplicações possíveis para os AUVs.



*Figura 1: Representação da utilização de um AUV.*

## **2. Objetivo:**

O objetivo principal deste trabalho é descrever os sistemas de AUV e suas aplicações em pesquisas oceânicas, através de uma visão geral desde sua invenção até os veículos mais modernos e atuais. Para isso, serão detalhados alguns componentes principais, métodos de navegação e comunicação, sensores mais importantes para as missões, além de diferentes equipamentos. Estudos de caso também serão utilizados com o intuito de descrever e debater a ampla gama de possibilidades que a utilização dos AUVs representa.

## **3. História:**

Desde 1775, quando os irmãos David e Ezra Brushnell inventaram o primeiro submarino americano, chamado de "*Turtle*" (em português, tartaruga), passando por 1879, quando o Reverendo George W. Garrett criou o "*Resurgam*", que foi considerado um dos primeiros submarinos alimentados por fontes de energia da história, muita coisa foi criada, utilizada e desenvolvida (Blidberg, R).

A origem dos AUVs deve provavelmente estar ligada ao Whitehead Automobile "Fish" Torpedo. Robert Whitehead é reconhecido pela criação, construção e demonstração do primeiro torpedo da história, na Áustria em 1866. O veículo era movido por ar comprimido, atingia uma velocidade de 3 m/s percorrendo 700 m e carregava cargas explosivas. Se ignorarmos o fato de explosivos estarem acoplados ao corpo, esse pode ser considerado o primeiro AUV (von Alt, C. J., 2003).

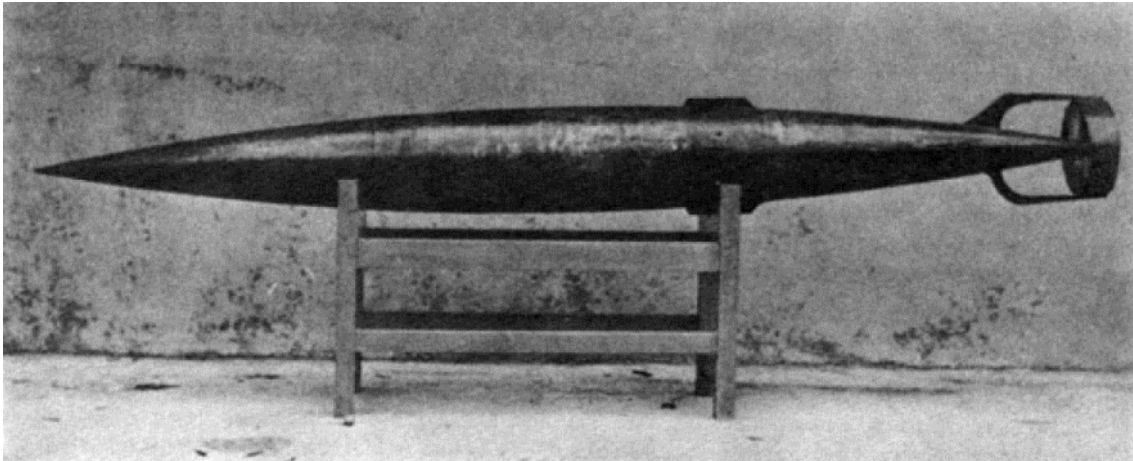


Figura 2: Whitehead Automobile "Fish" Torpedo.

No final dos anos 1950 a necessidade de obter dados oceanográficos ao longo de trajetórias precisas e abaixo de camadas de gelo em regiões árticas motivou os pesquisadores Stan Murphy, Bob Francois e posteriormente Terry Ewart, do Laboratório de Física Aplicada da Universidade de Washington, a desenvolver o que seria o primeiro AUV de verdade, chamado de *The Self Propelled Underwater Research Vehicle* (SPURV). A primeira geração dos SPURVs, nomeada SPURV I, entrou em operação no início dos anos 1960 e manteve-se até meados da década de 1970. Pesando 480 kg, era capaz de operar à 2,2 m/s por 5,5 horas à 3 km de profundidade. Era controlado acusticamente da superfície e podia autonomamente navegar à uma pressão constante, entre duas determinadas profundidades ou emergir e submergir com ângulos de até 50°. Esse veículo foi utilizado pelos pesquisadores como suporte nas observações de difusão vertical e horizontal, já o SPURV II era uma versão aprimorada e foi bastante utilizada no estudo da dispersão de rastros submarinos entre as décadas de 70 e 80 quando houveram mais de 400 lançamentos (Ewart, T. E., 1976).

O *Naval Ocean System Center*, atualmente chamado de SPAWAR, iniciou o desenvolvimento do sistema de procura avançado não tripulado (do inglês *Advanced Unmanned Search System* ou AUSS) em 1973 como uma forma de resposta aos naufrágios do USS Thresher e do USS Scorpion. O veículo foi lançado em 1983 pesando 907 kg, equipado com baterias de prata-zinco de 20 kw-hora capazes de mergulhar por até 6 km. Ele contava com um sistema de comunicação acústico que transmitia imagens de vídeo através da água e realizou 114 mergulhos (Ewart, T. E., 1976).



O Epulard foi projetado em 1976 e construído em 1978 pelo IFREMER (em francês, *Institut Français de Recherche Pour L'exploitation de La Mer* ou Instituto Francês de Pesquisa e Exploração do Mar). Em operação a partir de 1980, foi o primeiro AUV acusticamente controlado, capaz de fotografar e realizar levantamentos batimétricos em águas profundas. Ele mantinha uma altitude constante acima do fundo marinho puxando um cabo, completou 300 mergulhos, alguns de 6 km, entre 1970 e 1990 (Michael, J. L., Le Roux, H., Epulard, 1981).

De acordo com o Diretório de Veículos Subaquáticos de Burby, em 1987 haviam 6 AUVs em operação e outros 15 veículos considerados protótipos ou ainda em construção. Durante esse período, os AUVs eram chamados de ROVs autônomos enquanto o acrônimo AUV era utilizado para veículo subaquático avançado (do inglês *Advanced Underwater Vehicle*) que foi desenvolvido pela *U.S. Defense Advanced Research Projects* e concluído em 1984.

Durante a década de 1990 o interesse das pesquisas acadêmicas sobre os AUVs foi reaceso. O laboratório Sea Grant AUV do Massachusetts Institute of Technology (MIT) desenvolveu 6 veículos que receberam o nome de Odyssey logo no início da década. Esses veículos pesavam 160 kg, eram capazes de operar à 1,5 m/s por até 6 horas em mergulhos de até 6 km. Foram operados sob o gelo em 1994 e à 1,4 km de profundidade por 3 horas em mar aberto em 1995 (Bellingham, J., Goudey, C., Consi, T., Crhysostomidis, C., 1992).



Figura 3: AUV Odyssey do MIT.

O Autonomous Benthic Explorer (ABE) da Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) também foi desenvolvido no início dos anos 1990 e completou sua primeira missão em 1994. O ABE, como era chamado, pesava 680 kg, podia operar por 34 horas em profundidades de até 5 km e normalmente viajava à 0,75 m/s. Era composto por 6 *thrusters* (sistemas de propulsão), que facilitavam manobras em qualquer direção e o tornavam uma excelente ferramenta para levantamentos próximos à fundos acidentados. Completou mais de 80 mergulhos, um deles com 30 horas de duração à 2,2 km, atingindo o máximo de 4 km de profundidade (Curtin, T. B., Bellingham, J. G., Catapovic, J., Webb, D., 1993).



*Figura 4: Autonomous Benthic Explorer (ABE) da Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI).*

Também durante o início da década de 90, a International Submarines Engineering Ltd. desenvolveu o Theseus para os sistemas de defesa dos Estados Unidos e do Canadá. Pesando 8600 kg, este veículo era capaz de navegar à 2 m/s por 100 horas à profundidades de até 1 km. Cumpriu com sucesso a missão de lançar 190 km de cabos de fibra ótica sob o gelo à 500 m de profundidade em 1996, numa jornada de 365 km que durou 50 horas (Butler, B., Black, M., 1997).



*Figura 5: Theseus desenvolvido pela International Submarines Engineering Ltd.*

Já no final da década de 90, a WHOI (Woods Hole Oceanographic Institution) desenvolveu o REMUS com o intuito de dar suporte científico ao observatório LEO-15 em Tuckerton, New Jersey, com o financiamento da NSF (National Science Foundation) e da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). O REMUS completou sua primeira missão científica em 1997, pesando 36 kg opera por até 20 horas à 1,5 m/s e 100 m de profundidade. Atualmente estima-se que existam mais de 50 REMUS em diversas configurações diferentes que estão sendo operados independentemente por laboratórios universitários e militares, tendo centenas de pessoas treinadas para manuseá-lo. Assim sendo, torna-se impossível determinar a quantidade de missões já foram realizadas pelos REMUS. Sabe-se que a mais longa durou 17 horas, onde o veículo viajou por 60 km à 1,75 m/s numa profundidade de 20 m ao longo da costa do estado de New Jersey, Estados Unidos (von Alt, C. J., Allen, B., Austin, T., Stokey, R., 1994).



*Figura 6: AUV Remus.*

O Southampton Oceanography Center desenvolveu o Autosub ainda nos anos de 1990 visando oferecer aos cientistas uma nova maneira de monitorar os oceanos. Completou sua primeira missão em 1998, com um peso de 1700 kg podendo viajar por até 6 dias à 1,5 m/s atingindo profundidades de no máximo 1,6 km. O Autosub completou 271 missões totalizando 750 horas de navegação, recobrando 3596 km, sendo seu mergulho mais profundo à 1 km e o mais longo durando 50 horas. Em 1998, o UK National Environmental Research Council proveu 2,6 milhões de libras em subsídios e bolsas de formação para a utilização do Autosub, o que estimulou bastante o interesse da comunidade científica no veículo (Griffiths, G., Birch, K., et al, 2000).



*Figura 7: Autosub desenvolvido pelo Southampton Oceanography Center.*

A virada do século apresentou o primeiro empreendimento comercial a oferecer serviços utilizando AUVs em águas profundas. A C&C Technologies de Lafayette, Louisiana passou a oferecer o Hugin 3000, nome dado em referência à profundidade atingível pelo veículo, 3 km. Manufaturado pela empresa norueguesa Kongsberg Simrad, apresenta 1400 kg e 2 m/s como seu peso e sua velocidade respectivamente, além de até 40 horas de navegação abastecidas por células combustíveis de alumínio-oxigênio. A C&C Technologies completou mais de 17702 km de mapeamento geofísico, alguns à 3 km de profundidade, desde que o Hugin passou a ser utilizada em 2000. Um serviço adicional oferecido pela empresa é o de suporte online através de softwares interativos onde os clientes podem acompanhar em tempo real o progresso do levantamento e os gráficos que estão sendo gerados no navio de suporte ao AUV.



Figura 8: Hugin 3000.

Tabela 1: Resumo da história cronológica do desenvolvimento dos AUVs (Blidberg, R.).

Década	Situação	Principais pontos
<b>Antes de 1970</b>	Aplicações específicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Investigações iniciais sobre a utilidade dos AUVs</li> <li>→ Os AUVs eram construídos para aplicações muito específicas</li> </ul>
<b>1970 – 1980</b>	Exploração do potencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Desenvolvimento de áreas para testes</li> <li>→ Experiências com novas tecnologias na esperança de determinar o verdadeiro potencial dos sistemas autônomos</li> <li>→ Visão da comunidade científica muito além da tecnologia disponível</li> <li>→ Avanços significativos nos AUVs</li> </ul>
<b>1980 – 1990</b>	Experimentos com protótipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Avanços tecnológicos fora da comunidade dos AUVs</li> <li>→ Desenvolvimento de computadores pequenos e com baixo custo energético</li> </ul>

		→ Incentivo financeiro para que protótipos fossem desenvolvidos, testados e utilizados
<b>1990 – 2000</b>	Desenvolvimento	→ Desenvolvimento de diversos AUVs ao redor do mundo
		→ Primeira geração de sistemas operacionais capazes de cumprir objetivos determinados
		→ Despertar de possíveis usuários
		→ Chegada de recursos necessários para deixar a tecnologia mais próxima de ser comercializada
<b>2000 em diante</b>	Crescimento do mercado comercial	→ Primeiros produtos comerciais
		→ Tecnologia passa do meio acadêmico para a cadeia principal da indústria oceânica
		→ Alguns problemas à serem solucionados
		→ Viabilidade econômica à prova

#### 4. Fontes de energia:

A duração das tarefas delegadas aos AUVs tem crescido consideravelmente, de poucas horas para algumas dezenas de horas. Atualmente alguns sistemas são capazes de realizar missões que levam dias e existem alguns poucos capazes de trabalhar por anos sem interrupção. Esse prolongamento na duração das viagens oferece limitações na capacidade dos sensores e na velocidade de trânsito (Blidberg, R.).

Os primeiros AUVs utilizavam majoritariamente baterias de chumbo ácido, compostas por um conjunto de placas de chumbo e placas de dióxido de chumbo, mergulhadas em solução de ácido sulfúrico e água. Essa tecnologia tem cerca de 150 anos de idade, tendo sido inventada pelo físico francês Gaston Planté e são

muito utilizadas em carros, no-breaks e em casos onde o peso não é um grande problema. São o tipo menos eficiente de bateria, com a pior relação peso/energia, mas em compensação é a tecnologia mais econômica já que o chumbo é um dos metais menos valiosos.

Alguns inventores chegaram a utilizar baterias de prata zinco que oferecem melhor relação peso/energia e o dobro da densidade energética mas a maioria abandonou a ideia por conta do custo proibitivo do material. Muitos outros experimentos químicos foram testados para diferentes aplicações.

O Autonomous Benthic Explorer (ABE) da Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) utilizava baterias primárias de lítio, que atualmente são usadas em muitos equipamentos eletrônicos portáteis, como câmeras fotográficas, por causa da sua capacidade de fornecer aumento de energia e em dispositivos que demandem uma longa vida como marca-passos e outros dispositivos médicos implantáveis.

A maioria dos AUVs em uso atualmente são alimentados por baterias recarregáveis acoplados a sistemas de gerenciamento de energia. Alguns veículos utilizam baterias primárias (descartáveis) o que pode oferecer até o dobro de tempo de utilização acompanhado de um substancial aumento no custo. Uma parte dos veículos de grande porte utilizam células combustíveis à base de alumínio, o que demanda manutenção constante, refis muito dispendiosos e geram materiais que necessitam de cuidado ao serem descartados. Uma tendência que vem emergindo é a combinação entre diferentes baterias e sistemas de energia com ultra capacitores.

Os avanços nas baterias de níquel metal hidreto (Ni-MH) trouxeram uma nova gama de oportunidades para os AUVs e estão sendo utilizadas em muitos dos sistemas atuais. Desenvolvidas a partir da década de 1970 e aperfeiçoadas ao longo da década de 1980, as baterias Ni-MH são uma evolução direta das de níquel cádmio (Ni-Cad). Elas também utilizam o níquel como matéria prima básica, mas o cádmio é substituído por uma liga de metais não tóxicos, o que aumenta o custo de produção porém ameniza a questão ambiental, além de oferecer uma densidade energética 40% superior e ser menos suscetível ao efeito memória.

A energia solar vem surgindo como uma alternativa viável e já tem sido utilizada para alimentar alguns tipos de AUV. Esse sistema necessita de um sistema de controle de energia bastante complexo a bordo do veículo, capaz de controlá-lo



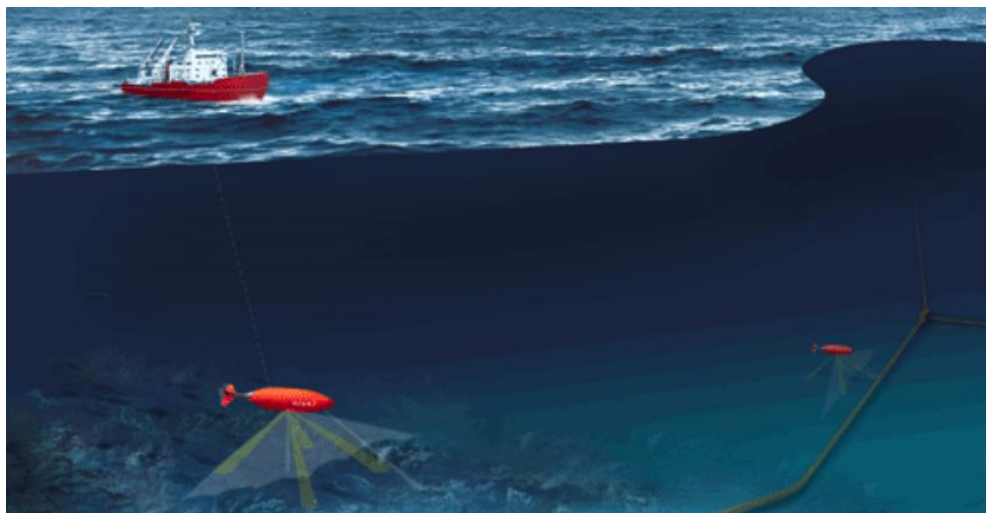
durante as fases de aquisição e operação. É, de fato, uma fonte inexaurível de energia mas requer que o AUV permaneça na superfície durante a recarga das baterias.

*Tabela 2: Tabela com a comparação energética entre baterias e células de combustível.*

<b>Sistema</b>	<b>Relação peso/energia (Watt-hr/kg)</b>
Chumbo ácido	4,5 – 8
Ni-Cd	5,5 – 9
Ni-Fe	9 – 11,5
Ag-Cd	8 – 20,5
Ag-Zn	18 – 22
Hi-H <sub>2</sub>	36 – 41
Células de combustível ácido	31,5 – 209
Células de combustível alcalino	50 – 195,5

## **5. Navegação:**

A navegação é um dos pontos chave na limitação da capacidade dos AUVs. Informações precisas são essenciais para operação, georeferenciamento e recuperação dos veículos. AUVs são capazes de navegar utilizando diversos sistemas de posicionamento subaquático, os primeiros AUVs utilizavam a navegação estimada em suas missões. A necessidade de aumento na precisão levou ao desenvolvimento de sistemas de transponders acústicos, que demandavam aumentos significativos nos custos operacionais (Blidberg, R.).



*Figura 9: Representação da utilização de dois AUV com uma embarcação de suporte.*

Quando operam em conjunto à uma rede de transponders já posicionados no fundo do mar, o sistema de navegação é chamado de LBL (Long Baseline). Quando o ponto de referência está na superfície, como em um navio de apoio, o sistema utilizado é o de USBL (Ultra-short Baseline) ou SBL (Short Baseline), que calcula a posição do AUV em relação à coordenada do GPS do navio. Em caso de operações totalmente autônomas, o veículo deve emergir até a superfície e coletar a sua própria coordenada no GPS. Um sensor de pressão é responsável pela medição da posição vertical.

Uma alternativa que vem sendo utilizada afim de proporcionar uma navegação mais precisa é um sistema de navegação inercial em conjunto com medições do efeito Doppler. Como ondas de rádio não penetram na água, ao mergulhar o AUV perde o sinal de GPS. O sistema de navegação inercial é basicamente uma bússola extremamente acurada que através da medição do efeito Doppler das ondas acústicas refletidas do fundo oceânico é capaz de medir a velocidade de deslocamento do veículo (Leonard, J. J., Bennett, A. A., Smith, C. M., Feder, H. J. S.).

Existe ainda um grande interesse no desenvolvimento de um sistema de navegação que opere tendo como ponto de referência o meio ambiente. Esse sistema utilizaria feições no fundo, variações gravimétricas ou outras características e seu sucesso traria um aumento significativo na capacidade dos AUVs.

#### **a. Navegação estimada:**

A técnica de navegação que vem sendo utilizada há mais tempo consiste basicamente em integrar a velocidade do veículo no tempo para obter uma nova posição estimada. Medições da componente de velocidade geralmente são feitas utilizando uma bússola e um sensor que mede a velocidade de deslocamento da água. O principal problema é que a presença das correntes oceânicas adicionam uma componente de velocidade ao deslocamento do veículo, que não é detectada pelo sensor de velocidade. Nas proximidades da costa, a velocidade das correntes oceânicas pode ser superior à 2 nós, conseqüentemente em casos como dos AUVs que operam em baixa velocidade, entre 3 e 6 nós, essa variável pode gerar estimativas de posicionamento extremamente distantes da realidade (Leonard, J. J., Bennett, A. A., Smith, C. M., Feder, H. J. S.).

#### **b. Navegação inercial e efeito Doppler:**

Os sistemas de navegação inercial consistem basicamente de acelerômetros e agulhas giroscópicas que medem os movimentos do veículo em três dimensões e três ângulos de rotação. As acelerações e variações angulares do veículo são integradas no tempo para obter a melhor estimativa possível para sua posição atual. Para o início da navegação é imprescindível uma posição inicial definida, essa informação pode ser coletada antes do mergulho através da própria antena GPS acoplada ao veículo ou com alguns metros de profundidade através de comunicação por USBL, caso haja algum sistema disponível. A partir daí somente a posição, a velocidade e o comportamento do veículo são levados em consideração (Procedimentos e treinamentos – Fugro Brasil – 2013/2014).

Com custo e consumo de energia elevados, historicamente esses sistemas não se tornaram atrativos para os pequenos AUVs, porém com o desenvolvimento de produtos menores e mais baratos tende a mudar esse cenário.

Em operações próximas ao fundo marinho, perfiladores de velocidade Doppler (do inglês *Acoustic Doppler Current Profiler* ou ADCP) utilizam o retorno de pulsos refletidos no fundo marinho para determinar a altitude e a velocidade de

deslocamento do veículo em relação ao solo. A integração dessa informação com o filtro Kalman pode melhorar significativamente a performance.

O problema em utilizar exclusivamente a navegação estimada ou a navegação inercial é que o erro no posicionamento aumenta proporcionalmente à distância percorrida. Nesses casos o erro aumenta em função das correntes oceânicas, da velocidade do veículo e da qualidade dos sensores de navegação estimada. Sistemas de navegação via rádio ou via satélite podem fornecer atualizações acuradas sobre o posicionamento desde que o veículo consiga trafegar na superfície, ou bem próximo à ela, periodicamente. Dessa forma, o tempo máximo de viagem nos mergulhos será determinado pela acurácia dos sensores de navegação. Uma navegação estimada pouco precisa exigirá uma frequência de emergências inaceitável para o desenvolvimento do trabalho, além do risco de colisões com outros veículos em levantamentos próximos à costa, do desperdício de tempo e de bateria em trabalhos em água profundas e da impossibilidade em levantamentos sob o gelo.

### **c. Navegação acústica:**

Ondas eletromagnéticas não podem ser propagadas por grandes distâncias no oceano a não ser em frequências muito baixas. Já as ondas acústicas apresentam uma boa propagação e transponders acústicos podem ser utilizados para guiar os AUVs sem a necessidade de retornos à superfície. Dois tipos de foram aplicados primariamente, o LBL (long baseline) e o USBL (ultra-short base line). Ambos utilizam transdutores ou arranjos de transdutores externos para possibilitar a navegação e os erros mais comuns ocorrem na montagem da geometria dos arranjos e na determinação do perfil da velocidade do som na água.

Durante esse tema, muito será falado sobre os *beacons* (ou *transponders*), que são transponders acústicos capazes de se comunicar bidireccionalmente através da água, recebendo e transmitindo sinais acústicos. Além dos *beacons*, os *responders* também são utilizados para transmitir a posição instantânea do objeto a ser monitorado, com a diferença que esses dependem de um acionamento manual

através de uma ligação física, como no caso do cordão umbilical dos ROVs, o que os torna inúteis para os AUVs.

#### **i. LBL:**

Nos sistemas de navegação com LBL, um arranjo de três ou mais *transponders* (beacons) é lançado e posicionado no fundo do mar. O veículo envia um sinal acústico que é respondido pelos *transponders* assim que o recebem. A posição é determinada pela medição do tempo que o sinal leva para viajar do AUV até o *beacon*. É imprescindível a medição de um perfil de velocidade do som na água bem como a posição exata de cada *beacon*. Juntando todas essas informações pode-se calcular as distâncias entre o veículo e cada ponto do arranjo. Os dois métodos utilizados para a realização desse cálculo são: Localizar os pontos de interseção entre as esferas centralizadas nos *beacons* e com raios já determinados nas medições anteriores ou integrar o dado de tempo de trânsito bruto com o filtro Kalman apropriado.

Em condições mais adversas para a utilização de instrumentos acústicos, como em águas rasas ou no Ártico, torna-se difícil a distinção entre as ondas diretas e as interferências do meio, assim a eliminação de pontos discrepantes é uma prática muito utilizada. Os principais fabricantes atualmente são a Kongsberg, a Nautronix e a Sonardyne.

Uma variação desse sistema é a chamada navegação hiperbólica, onde o veículo não emite o sinal, ele somente ouve os sinais emitidos pelos *beacons* posicionados em um arranjo de geometria conhecida. Cada *beacon* emite um sinal em uma sequência específica em relação aos outros na sua frequência específica. Sabendo quando cada um dos *beacons* emite seu sinal e a geometria do arranjo, o AUV é capaz de determinar sua localização no espaço. Esse sistema oferece a vantagem de poupar a bateria do veículo, que não precisa emitir sinais, e é especialmente útil em operações com vários AUVs. Com um sistema de LBL ativo (ou esférico), operações com diversos AUVs requerem uma sequência de emissão de sinais cuidadosamente determinada.

Geralmente os LBLs operam em três diferentes bandas de frequência: Baixa, média e muito alta. A baixa trabalha entre 7,5 e 15 kHz, alcançando distâncias de até 12 km, com precisão de 2,5 m, as frequências médias vão de 19 à 36 kHz, com alcance em torno de 3 km e precisão de 0,5 m, já as muito altas variam de 60 à 110 kHz, alcançando 0,5 km sob uma precisão de até 0,2 m. Isso deixa evidente uma relação onde a distância é inversamente proporcional à precisão.

Os sistemas LBL oferecem acurácia muito significativa, elevada capacidade de comunicação e repetição, mas demanda alto custo, conhecimento e tempo para instalação e calibração. São muito utilizados na instalação de grandes estruturas submarinas, suporte ao lançamento de dutos e posicionamento muito preciso de veículos subaquáticos (Procedimentos e treinamentos – Fugro Brasil – 2013/2014).

## ii. USBL:

O USBL é um método acústico de posicionamento subaquático, que consiste em um *transceiver* acoplado a uma haste presa ao casco da embarcação e um *transponder* no fundo marinho ou em um veículo submerso. Um pulso acústico é emitido pelo *transceiver*, assim que o *beacon* submerso detecta o pulso, envia um novo pulso como resposta. Essa resposta é detectada pelos receptores que compõem o transdutor acoplado ao navio. O tempo de transmissão entre a emissão do pulso inicial até a detecção da resposta é medido pelo sistema de USBL e é convertido em uma distância, levando sempre em consideração o perfil de velocidade do som na água.

Para calcular uma posição submarina, o USBL calcula a distância e o ângulo do *transceiver* até o *beacon*. Os ângulos são medidos pelo *transceiver* que é composto por um arranjo de transdutores, normalmente formado por três ou mais receptores separados por distâncias (*baseline*) de 10 cm ou menos. Dessa curta distância surge a nomenclatura *ultra-short baseline*. Através da posição do navio e da medição de distâncias e ângulos é possível calcular a localização do ponto submerso com precisão.

O USBL opera em frequências médias que variam entre 20 e 40 kHz, com um alcance de 2 à 3 km, ou em baixas frequências que alcançam de 12 à 15 km de

distância. É muito utilizado em posicionamento de veículos rebocados, ROVs e AUVs e os principais fabricantes atualmente são a Kongsberg, a Nautronix e a Sonardyne.

Os *transceiver* podem ser instalados de forma permanente ou temporária nas embarcações. A instalação permanente oferece maior praticidade em troca de maior custo, mais tempo e espaço para a instalação. Já a temporária demanda de maior frequência nas calibrações e cuidados com a fixação. Dependendo do design do *transceiver* o sistema oferecerá diferentes áreas de cobertura, feixes mais estreitos apresentam cobertura estreita e maior profundidade, já feixes mais extensos oferecem cobertura mais ampla mas menos profunda, necessário para veículos rebocados, por exemplo (Procedimentos e treinamentos – Fugro Brasil – 2013/2014).

## 6. Propulsão:

Os AUVs podem apresentar algumas opções de técnicas de propulsão, mas os sistemas baseados em hélices, conhecidos como *thrusters*, são os mais comuns. Esses sistemas são normalmente alimentados por motores elétricos e algumas vezes apresentam revestimentos selantes para proteger seus componentes internos da corrosão (Vijay, S.).

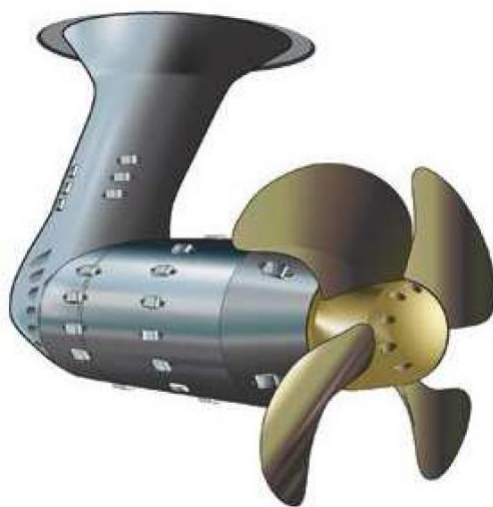


Figura 10: Thruster, principal sistema de propulsão utilizado nos AUVs.



*Figura 11: Foto da parte traseira de um AUV com seu sistema de propulsão.*

## **7. Comunicação:**

Pesquisa e desenvolvimento de veículos autônomos é de extrema importância no estudo dos oceanos no entanto, a comunicação com os AUVs é algo que representa um desafio enorme. O principal problema enfrentado atualmente para a transmissão de dados através da água envolve o método onde transdutores convertem energia elétrica em ondas sonoras. Como o oceano rapidamente enfraquece a energia acústica de acordo com o aumento da frequência, frequências relativamente baixas seriam necessárias para comunicações de longa distância. Mas em frequências muito baixas, o tamanho do transdutor necessário para a conversão do sinal torna-se grande demais e com taxas de transmissão muito baixas. A velocidade e a direção dos sinais sonoros variam de acordo com as ondas de superfície, a temperatura, a maré e as correntes marinhas.

## **8. Estrutura:**

Uma característica bastante comentada acerca dos AUVs é a estrutura modular. Dessa forma fica mais fácil transportar, por poder reparti-lo em diversas partes menores. O tempo de manutenção entre as missões é otimizado pela facilidade no acesso dos instrumentos no interior do corpo do veículo. A



customização dos equipamentos é mais uma vantagem positiva dessa estrutura por poder aumentar os módulos reservados para as fontes de energia, ou por ser possível acoplar sensores diferentes sem a necessidade da substituição de um veículo por outro.



*Figura 12: Foto mostrando a estrutura modular do veículo.*

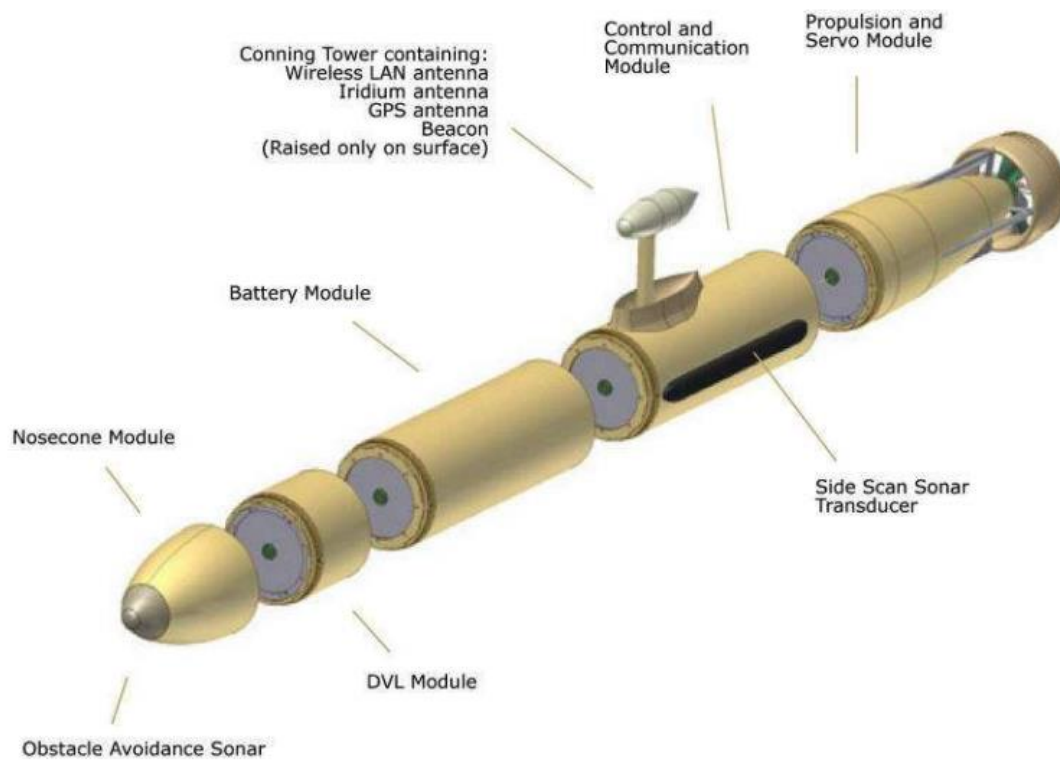


Figura 13: Imagem que mostra alguns dos diferentes módulos que podem ser combinados nos AUVs.

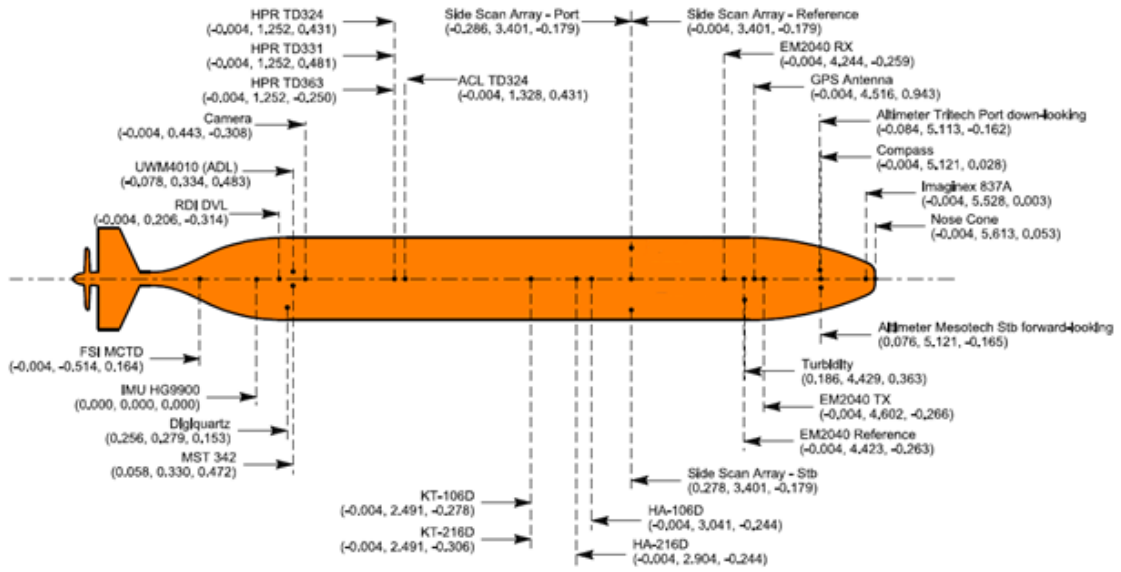


Figura 14: Exemplo de um dos módulos que compõem os AUVs, nesse caso, um sub-bottom profiling da Teledyne Gavia.

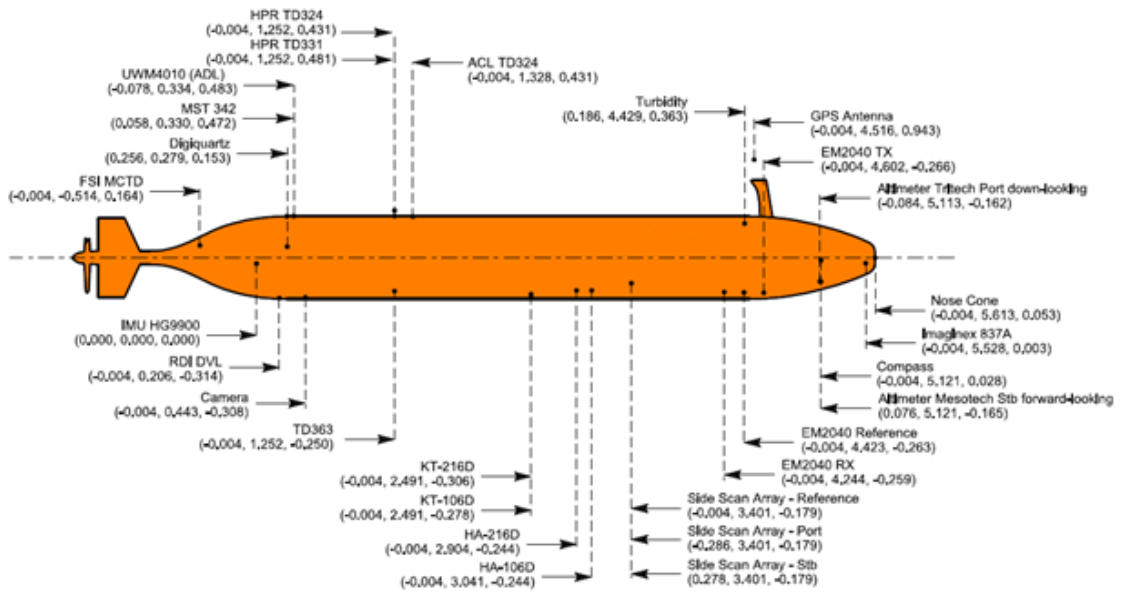
Abaixo encontram-se exemplos de tabela e imagem com os *offsets* da estrutura de um AUV. *Offsets* são medidas muito precisas que representam as distâncias entre a localização de cada um dos sensores e equipamentos até o CRP (em inglês, *Common Reference Point*) que é um ponto de referência comum, por onde todos os dados são referenciados para que estejam virtualmente na mesma posição.

Tabela 3: Tabela com os offsets da estrutura de um AUV.

Sensor	X [m] (+vo Boreste)	Y [m] (+vo Avante)	Z [m] (+vo Acima)
CRP (IMU / Gyro)	0.000	0.000	0.000
Starboard SSS	0.278	3.401	-0.179
Port SSS	-0.286	3.401	-0.179
SSS Reference	-0.004	3.401	-0.179
Compass	-0.004	5.121	0.028
GPS Antenna	-0.004	4.516	0.943
Obstacle avoidance sonar	-0.004	5.528	0.003
TD 324	-0.004	1.252	0.431
TD 331	-0.004	1.252	0.481
TD 363	-0.004	1.252	-0.250
MST 342	0.058	0.330	0.472
RDI DVL	-0.004	0.206	-0.314
FSI MCTD	-0.004	-0.514	0.164
Altimeter starboard forward looking	0.076	5.121	-0.165
Altimeter port down looking	-0.084	5.113	-0.162
Digiquartz	0.256	0.279	0.153
Subbottom Transmitter 1	-0.004	2.491	-0.278
Subbottom Hydrophone 2	-0.004	3.041	-0.244
Subbottom Transmitter 3	-0.004	2.491	-0.306
Subbottom Hydrophone 4	-0.004	2.904	-0.244
MBES RX	-0.004	4.244	-0.259
MBES TX	-0.004	4.602	-0.266
MBES Reference	-0.004	4.423	-0.263
Turbidity	0.186	4.429	0.363
Camera	-0.004	0.443	-0.308
Nose Cone	-0.004	5.613	0.053
ACL	-0.004	1.328	0.431
UW Acoustic Modem	-0.078	0.334	0.483
HiPap Down	-0.004	1.252	-0.250



### PLAN VIEW



### SIDE VIEW

## ECHO SURVEYOR OFFSETS RELATIVE TO CRP (GYRO / IMU HG9900)

Figura 15: Offsets dos instrumentos do Hugin 1000.

## 9. Sensores:

### a. *Side scan sonar.*

Consiste em dois arranjos de transdutores montados na parte inferior do AUV, sendo cada um voltado para um lado do veículo. O side scan sonar ilumina o fundo marinho através de ondas sonoras, utilizando pulsos para gerar imagens 2D solo e de qualquer objeto que se encontre sobre o mesmo. Seus sonares estão entre os equipamentos mais versáteis dentro dos levantamentos batimétricos por conta da ampla gama de profundidades e resoluções onde podem ser empregados.

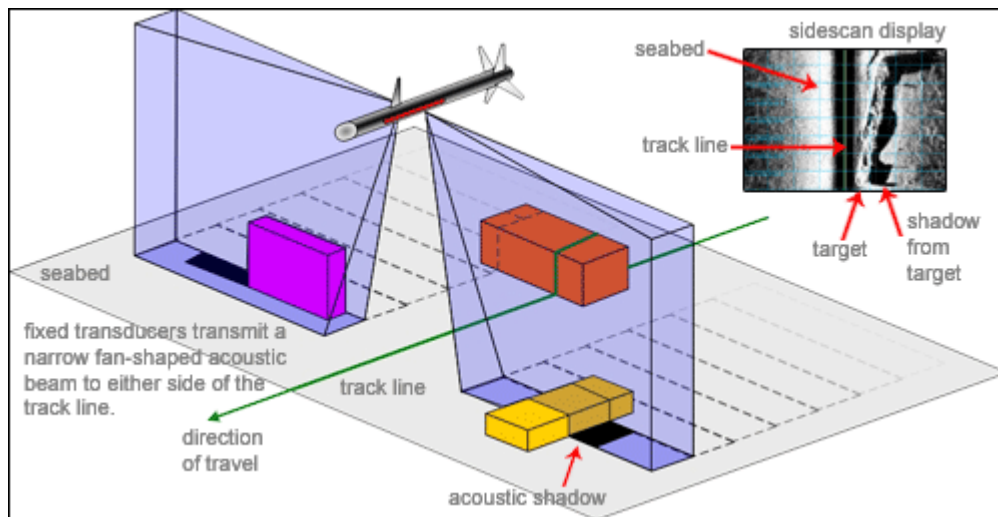
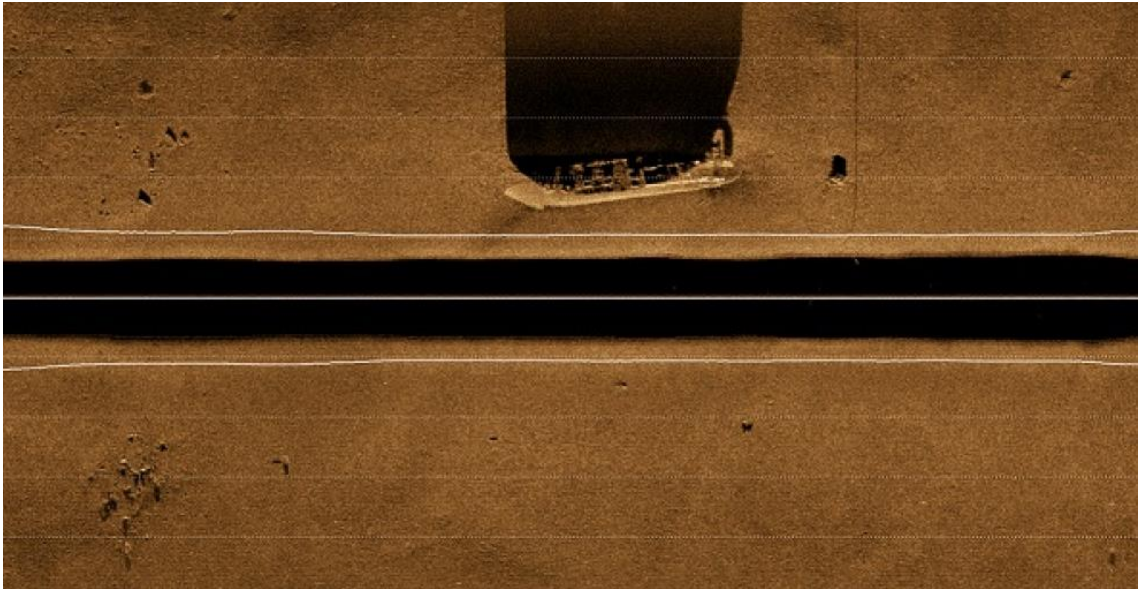
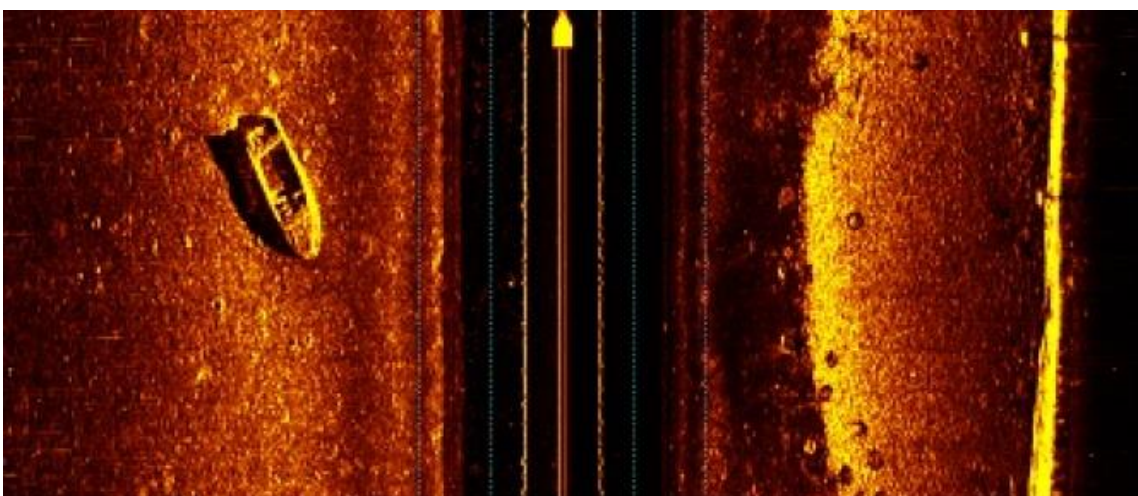


Figura 16: Esquema que mostra a utilização do side scan sonar.



*Figura 17: Navio localizado pelo side scan sonar.*

Os princípios de funcionamento são bem simples, são os mesmos do radar mas utilizando ondas sonoras no lugar das ondas eletromagnéticas. Os sinais enviados pelo sonar refletem no fundo marinho e nos objetivos depositados sobre ele, são recapturados pelos receptores do sonar e criam uma imagem do fundo. Essa imagem fornece informações como o tamanho dos objetos detectados. Normalmente são utilizadas frequências entre 500 kHz e 2000 kHz, sendo quanto maior a frequência, mais precisa será a imagem obtida, porém menor será a área estudada (Rosa, E. D. L., 2007).



*Figura 18: Imagem do side scan sonar (900 kHz).*

A imagem obtida é como de uma fotografia aérea e representa um dos melhores sistemas para visualização do fundo marinho. Normalmente as imagens são apresentadas em tons de cinza em função da refletividade do material no fundo, que é diretamente relacionada à morfologia do mesmo.

Essa ferramenta é muito utilizada com uma grande variedade de propósitos, entre eles estão a criação de cartas náuticas, a detecção e identificação de objetos no fundo dos mares e levantamentos batimétricos. Esses dados são comumente utilizados para a instalação de estruturas submarinas no ramo de petróleo e gás, além de constante acompanhamento do estado de dutos e cabos instalados no fundo. Operações de dragagem, pesca, estudos ambientais e militares são algumas outras utilidades do side scan sonar (Newton, R. S., Stefanon, A.).

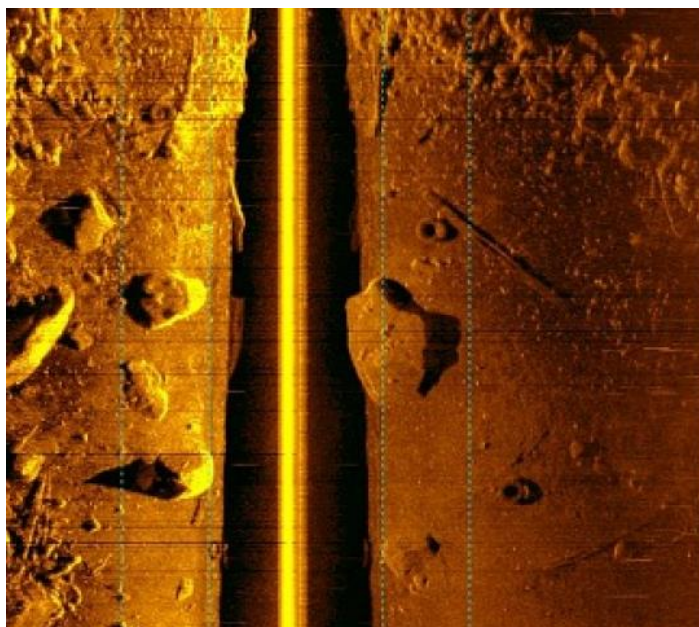


Figura 19: Imagem do side scan sonar (1800 kHz).

#### **b. Ecobatímetro multifeixe:**

Os ecobatímetros multifeixe (do inglês *multibeam echosounders* ou MBES) oferecem atualmente o melhor método para determinar a batimetria de grandes áreas, pois podem mapear várias posições do fundo marinho com um só pulso, com boa acurácia. Eles se tornaram instrumentos padrão nas pesquisas hidrográficas e são também muito utilizados em estudos geológicos, exploração mineral e



investigações científicas sobre as deformações da crosta terrestre e os ciclos de vida (Fox, C. G., 1996).

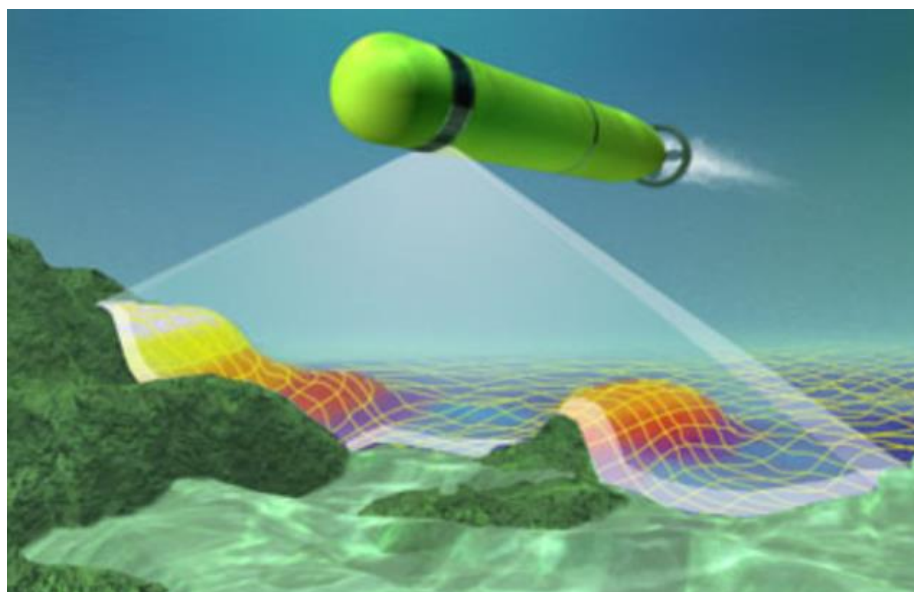


Figura 20: Ilustração da utilização do ecobatímetro multifeixe.

São basicamente compostos por múltiplos feixes sonoros que emitem pulsos em direção ao fundo do mar, em diversos ângulos, criando assim imagens 3D das profundidades e formatos do solo. São necessárias correções da atitude do veículo onde o equipamento está instalado (*pitch, roll, yaw* e *heading*) nos dados.

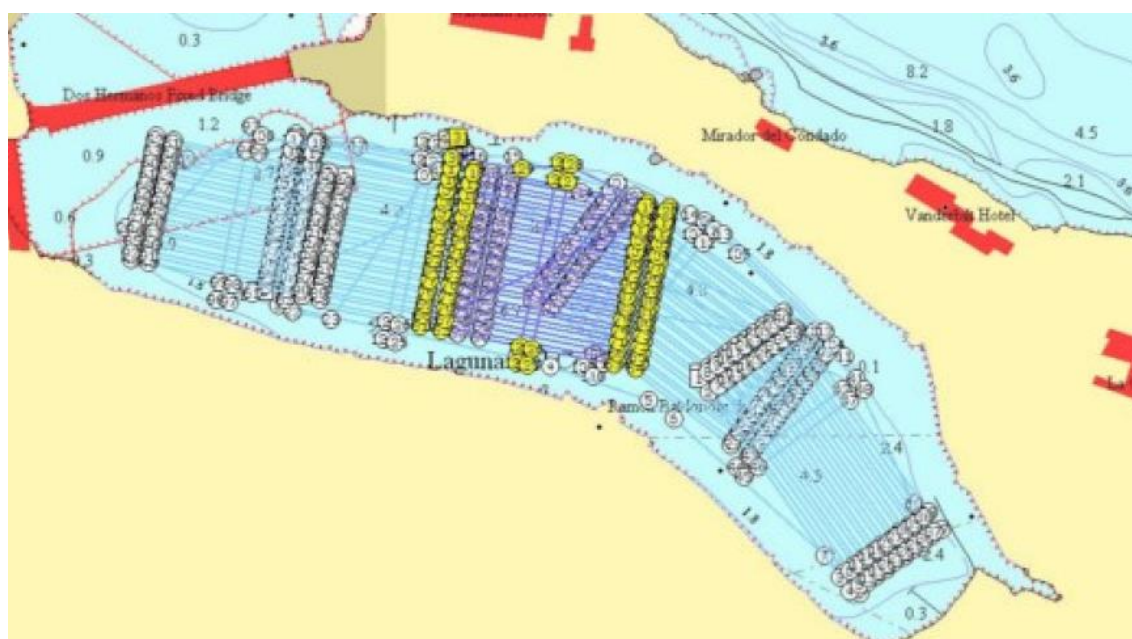


Figura 21: Exemplo de plano de linhas para o levantamento com o ecobatímetro.

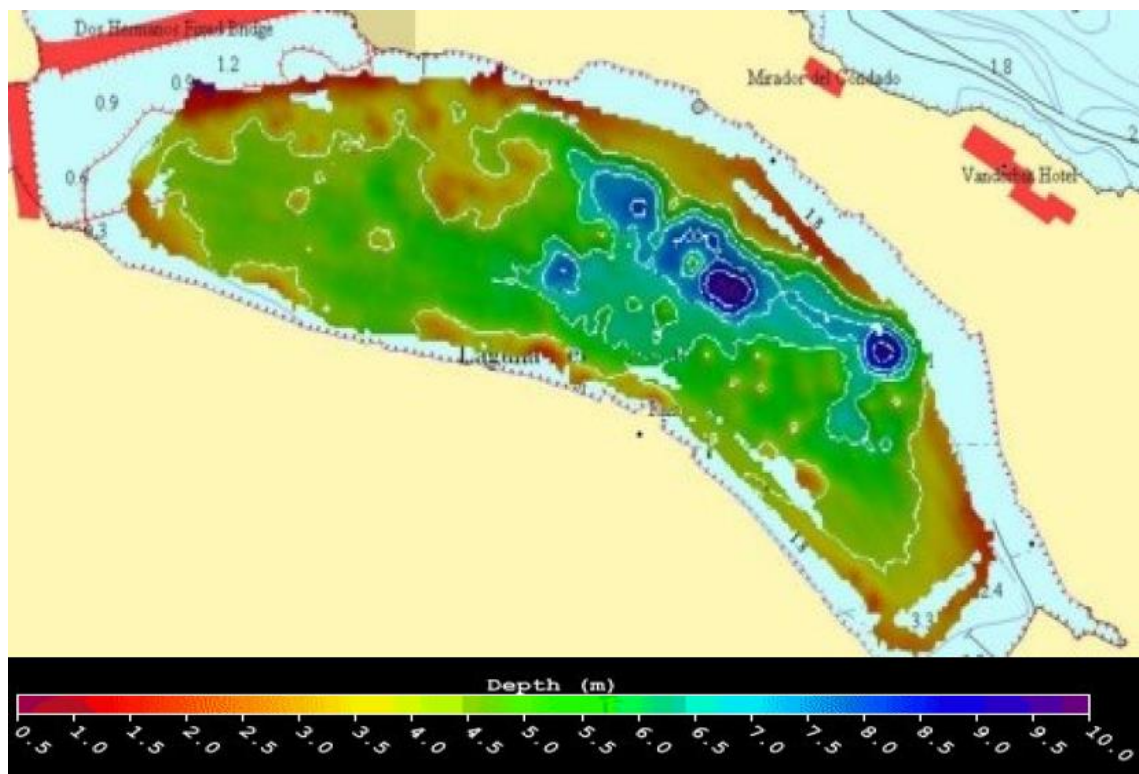


Figura 22: Dado adquirido, processado e com contornos.

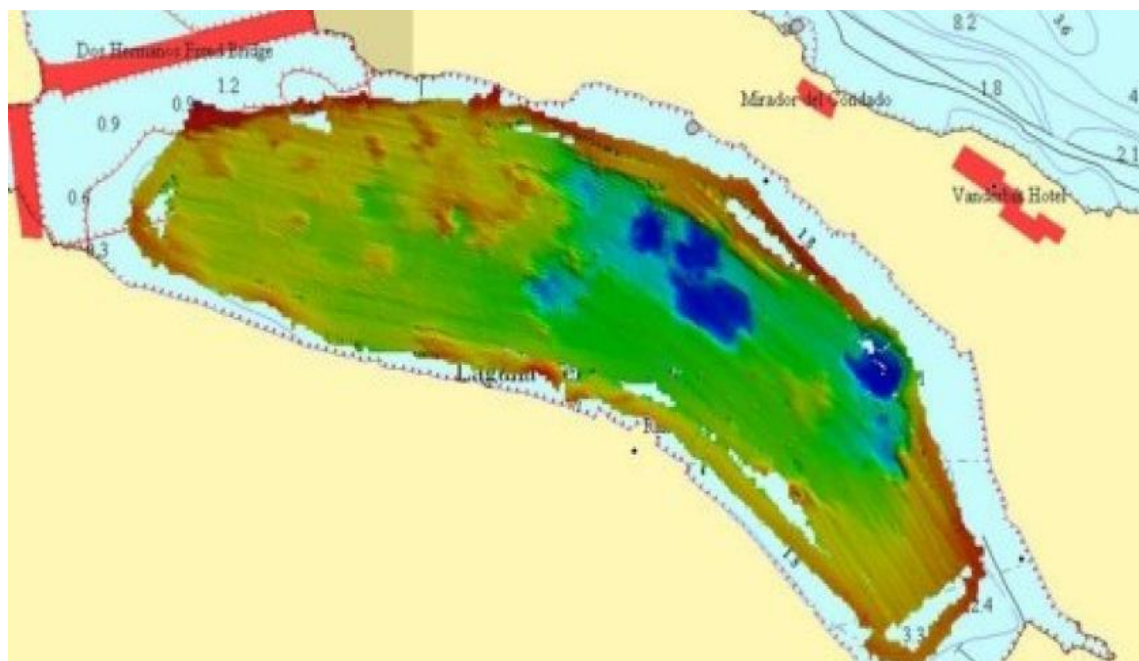


Figura 23: Dados adquiridos, processados e plotados sem contornos.

### c. *Sub-bottom profiler:*

É o método de prospecção geofísica que utiliza os princípios da sismologia para estimar as propriedades da subsuperfície da Terra com base na reflexão de ondas sísmicas. Este método requer a utilização de uma fonte sísmica de energia controlada, capaz de gerar um poderoso feixe sonoro para visualizar o que está abaixo das primeiras camadas de sedimentos no fundo marinho.

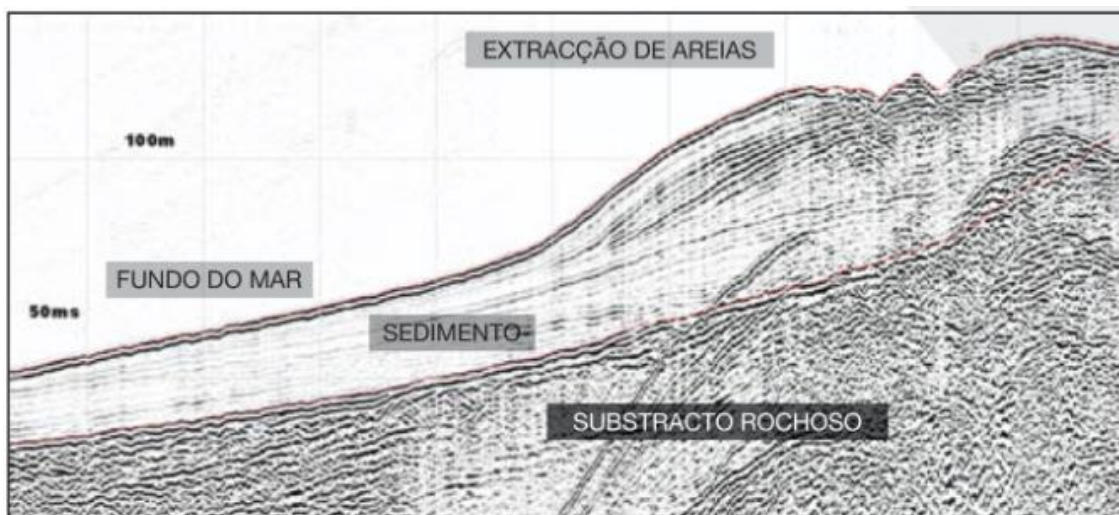


Figura 24: Visualização dos dados de sub-bottom profiler.

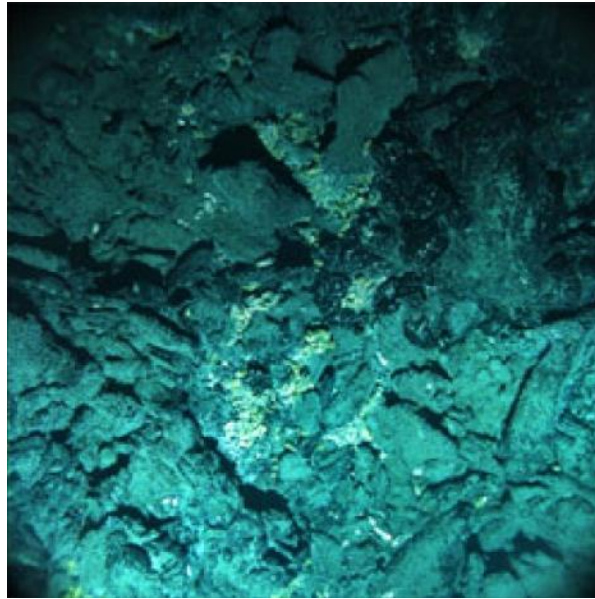
Ao determinar o tempo que uma onda refletida demora até atingir um receptor, contando com um perfil da velocidade do som na água, é possível estimar a profundidade da estrutura que gerou a reflexão.

Os *sub-bottom profilers* são classificados como instrumentos sísmicos de alta resolução, conseqüentemente, de baixa penetração. São muito utilizados em estudos de base para implementação de estruturas no fundo marinho, em arqueologia subaquática, no controle de dragagens e em estudos geológicos detalhados.

### d. *Câmera de vídeo:*

É bastante utilizada quando o veículo está a menos de 10 metros do fundo do mar, em conjunto com iluminação própria que funciona como os *flashes* de câmera fotográficas convencionais. A câmera é capaz de relacionar as imagens com a

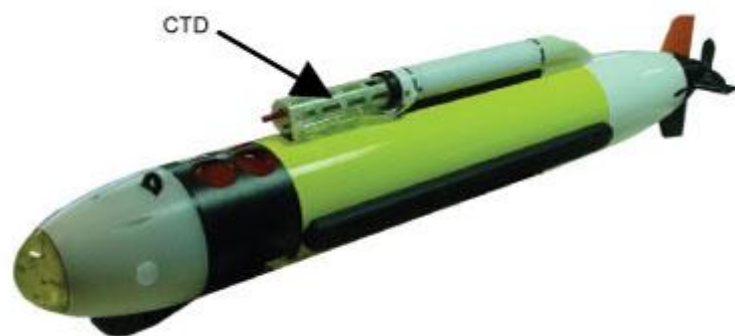
posição e o tempo de onde foram capturadas, além de armazená-las em um disco rígido a bordo do AUV.



*Figura 25: Exemplo de fotografia colorida da cordilheira meso-oceânica.*

**e. Conductivity, Temperature, and Depth sensor (CTD):**

O CTD é uma ferramenta primária para a determinação de propriedades essenciais da água do mar. Ele é capaz de fornecer gráficos precisos e compreensíveis de distribuição e variação de condutividade, através da salinidade da água, de temperatura da água e de profundidade do veículo (Encyclopedia of Ocean Sciences, vol. 1).



*Figura 26: Imagem com a indicação do local onde fica acoplado o CTD, no corpo do AUV.*

## **10. Equipamentos:**

### **a. Portáteis (até 100 kg):**

Os AUVs que pesam até 100 kg foram classificados neste trabalho como portáteis, isso porque, de acordo com os manuais fornecidos pelos fabricantes, todos os veículos desta faixa oferecem como uma das suas principais vantagens a capacidade de serem transportados sem a necessidade de máquinas além de serem facilmente lançados e recuperados a partir de diversos tipos de plataformas. Outras vantagens são a facilidade de operação dos sistemas de gerenciamento das missões, a necessidade de pouco pessoal para realizar as operações e manutenções, a alta qualidade dos dados e a estrutura modular.

Normalmente esses tipos de AUVs são muito utilizados em trabalhos próximos da costa como inspeções em áreas confinadas, monitoramento e proteção ambiental, localização de minas, segurança de portos e serviços de reconhecimento de área.

#### **i. Bluefin-9**



*Figura 27: Bluefin-9*

É um veículo leve, capaz de ser carregado por dois homens, equipado com um side scan sonar e uma câmera. Oferece performance semelhante a de AUVs maiores com a vantagem de ser mais prático e fácil de ser lançado. Sua navegação é bastante precisa utilizando IMU, GPS, ADCP e bússola. Sua estrutura dividida em módulos facilita e diminui o tempo de manutenção e seu software é muito intuitivo e capaz de exportar dados para softwares de terceiros.



*Figura 28: O Bluefin-9 pode ser facilmente lançado e recuperado utilizando um bote inflável.*

*Tabela 4: Especificações técnicas do Bluefin-9.*

Diâmetro	24 cm
Comprimento	175 cm
Peso	60,5 kg

Profundidade	200 m
Autonomia	12 horas a 3 nós (equipamentos padrão)
Velocidade	Até 5 nós



*Figura 29: Imagem do side scan sonar mostra uma embarcação naufragada.*

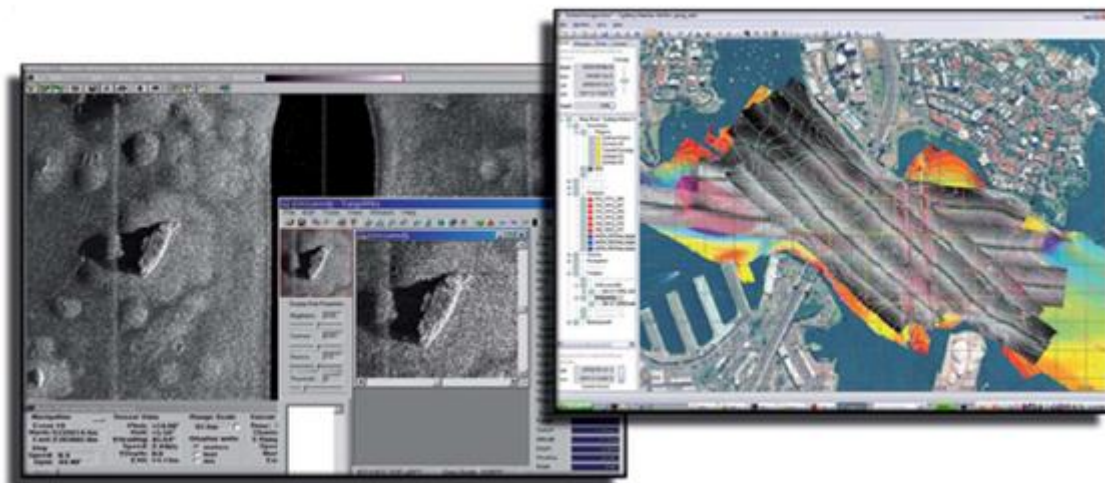
## **ii. ECA Alister 9:**



*Figura 30: Alister 9*

O Alister 9 é equipado com side scan sonar, sonar interferométrico, sonar para evitar obstáculos, batimetria de multifeixe, CTD e câmera com iluminação. Sua navegação é feita através de sistema de navegação inercial, ADCP, sensores de

profundidade, GPS e USBL ou LBL caso seja necessário. É capaz de comunicar-se através de conexões wifi, via satélite, sistemas de comunicação acústico subaquático e Rádio (VHF).



*Figura 31: Imagens das telas de controle e aquisição do Alister 9.*

É geralmente utilizado em inspeções de áreas confinadas,

*Tabela 5: Especificações técnicas do Alister 9.*

Comprimento	1,7 – 2,5 m
Peso	50 – 90 kg
Profundidade	100 – 200 m
Autonomia	24 horas a 3 nós
Velocidade	2 – 3 nós

### iii. Gavia Defense



*Figura 32: Gavia Defense.*



O Gavia Defense é uma solução bastante utilizada em sistemas de defesa, é navegado através de GPS e bússola ou de forma opcional através de sistemas de navegação inercial, LBL ou USBL. Sua estrutura modular permite ao usuário conduzir diversos tipos de missão alterando sua configuração em campo.



*Figura 33: Imagem do lançamento do Gavia Defense, a partir de uma embarcação de pequeno porte.*

Sua configuração típica apresenta sistema de navegação inercial com ADCP, side scan sonar, câmera, perfilador de velocidade do som na água e sonar para detecção de obstáculos. Com opcionais, oferece módulos de bateria, sub-bottom profiler e batimetria.

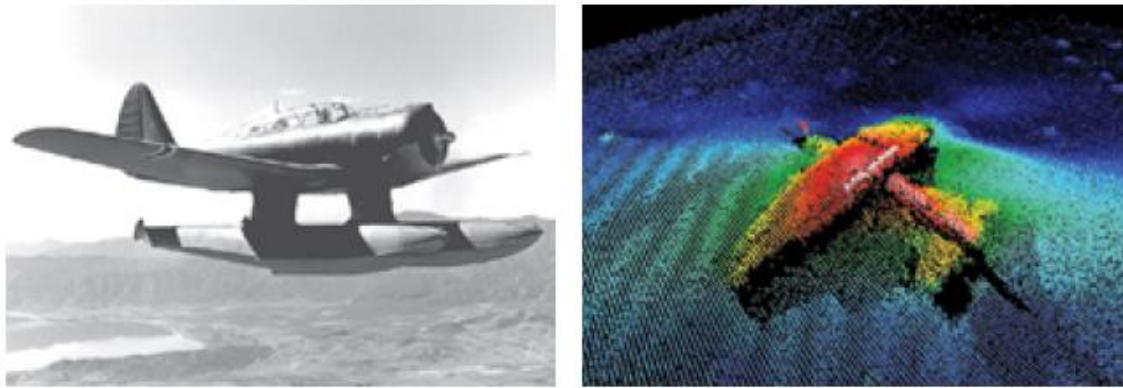


*Figura 34: Imagem adquirida com o side scan (900 kHz) do que parece ser uma mina.*

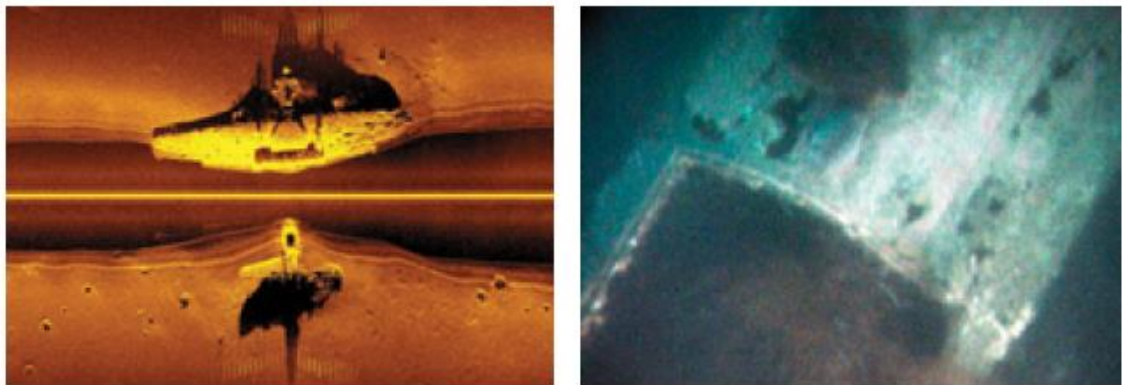


*Figura 35: Imagem capturada através da câmera de vídeo do que parece ser uma mina.*

Abaixo, imagens do levantamento utilizando o Gavia Defense acerca da aeronave chamada Northrop N-3PB, abatida pela base militar de Reykjavic durante a Segunda Guerra Mundial.



*Figura 36: Na esquerda, o Northrop N-3PB. Na direita, imagem do alvo adquirida com o batímetro multifeixe.*



*Figura 37: Na esquerda, imagem do alvo adquirida com o side scan sonar de 1800 kHz. Na direita, detalhes do alvo vistos através do sistema de câmeras do Gavia.*

*Tabela 6: Especificações técnicas do Gavia Defense.*

Diâmetro	20 cm
Comprimento	1,8 m
Peso	49 kg
Profundidade	500 – 1000 m
Autonomia	6 – 7 horas a 3 nós
Velocidade	5,5 nós

#### iv. Iver3 Nano

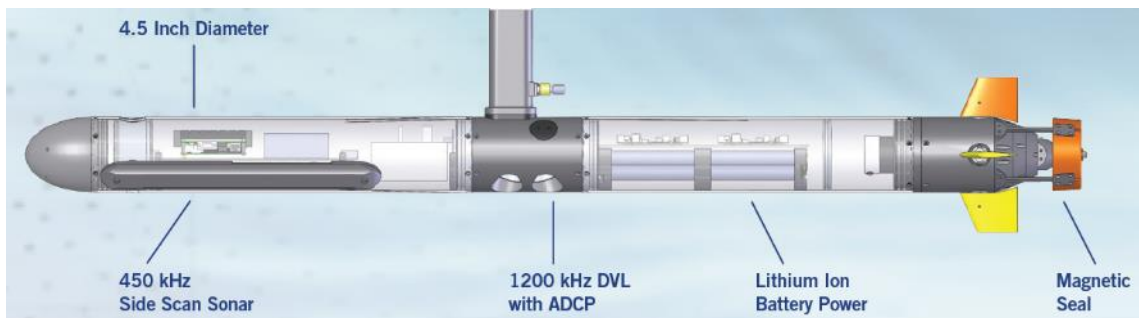


Figura 38: Iver3 Nano

Sua navegação é feita através de GPS quando da superfície e de sensores de pressão, bússolas e sistemas de navegação inercial com ADCP. Oferece side scan sonar de frequência única, com 100 metros de abertura para cada lado, fornece dados para correção de atitude (*pitch*, *roll*, *yaw*) e descarga através de portas USB.



Figura 39: Lançamento. Mostra a portabilidade do equipamento.

Tabela 7: Especificações técnicas do Iver3 Nano.

Diâmetro	12 cm
----------	-------

Peso	17 kg
Profundidade	60 m
Autonomia	6 – 10 horas a 2,5 nós
Velocidade	1 – 4 nós (2,5 nós durante o trabalho)

#### v. WHOI Remus 100



*Figura 40: Remus 100*

O Remus (sigla do inglês, *Remote Environmental Monitoring Units*) pode ser configurado de diversas maneiras, o que amplia consideravelmente sua gama de atuação. Dentre as possibilidades estão estudos de salinidade, temperatura, visibilidade para mergulho, side scan sonar, batimetria, velocidade do som na água e operações voltadas para pesca.

Utiliza sistema de navegação inercial, LBL, USBL, ADCP, GPS, wifi, e batímetro multifeixe. Alguns de seus diferenciais são o bom comportamento sob

fortes correntes e manutenção do aproamento preciso mesmo trabalhando próximo de grandes objetos metálicos.

*Tabela 8: Especificações técnicas do Remus 100.*

Diâmetro	19 cm
Peso	37 kg
Profundidade	100 m

**b. Grande porte (acima de 100 kg):**

Neste trabalho os AUVs com peso superior a 100 kg foram classificados como de grande porte. Como principais características estão a capacidade de carregar muito sensores diferentes de uma só vez, autonomia mais longa por conta da facilidade de levar consigo maior quantidade de células de energia e maior robustez para enfrentar os desafios impostos pelos oceanos a profundidades ainda maiores.

**i. Bluefin-21:**



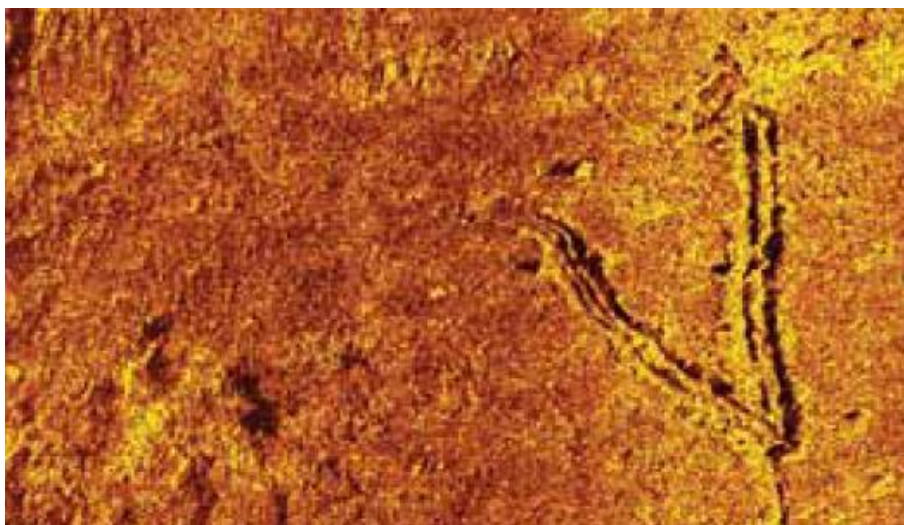
*Figura 41: Bluefin-21*

O Bluefin-21 tem apresenta estrutura facilmente desmontável, possibilitando seu transporte e sua manutenção durante as operações. Sua navegação é feita através de um sistema de navegação inercial, o que oferece a maior precisão possível, além de poder receber a contribuição de sistemas USBL.



*Figura 42: Bluefin-21 no deck do navio.*

Suas principais aplicações são: pesquisa *offshore*, arqueologia, exploração, oceanografia e localização de explosivos. O Bluefin-21 oferece em sua configuração padrão um side scan sonar de 120/410 kHz, um sub-bottom profiler e um ecobatímetro multifeixe de 400 kHz.

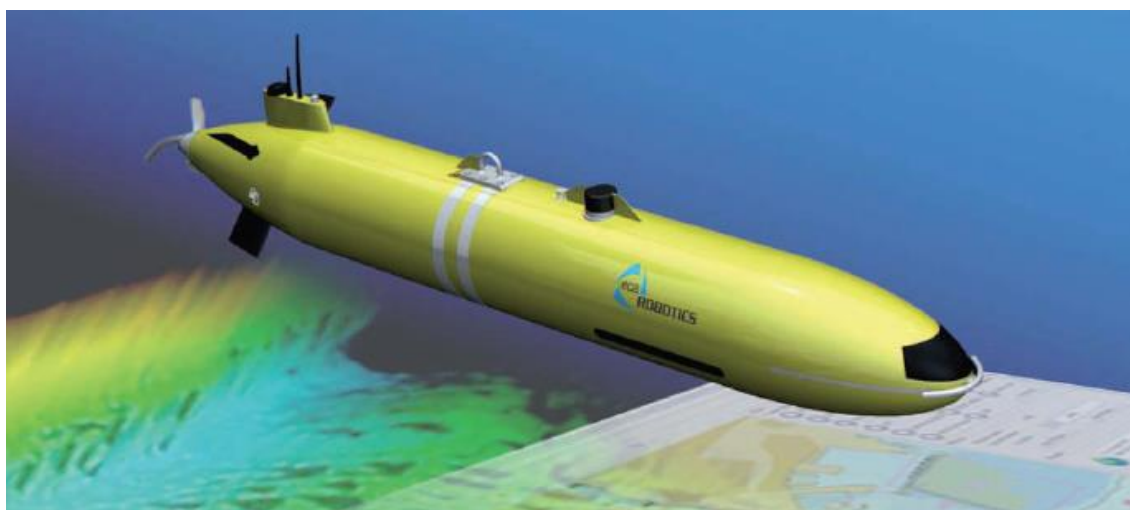


*Figura 43: Imagem das marcas de arrasto de âncoras adquiridas com o side scan sonar do Bluefin-21.*

*Tabela 9: Especificações técnicas do Bluefin-21.*

Diâmetro	53 cm
Comprimento	493 cm
Peso	750 kg
Profundidade	4.500 m
Autonomia	25 horas a 3 nós
Velocidade	4,5 nós

**ii. Alister 18:**



*Figura 44: Alister 18*

O Alister 18 se destaca por seu sistema de gerenciamento de missões bastante amigável, e pela facilidade no lançamento e na recuperação, pois ele é um dos mais leves dentre os de grande porte. Sua navegação conta com sistema inercial, ADCP, GPS e USBL ou LBL se necessário. Ele é capaz de comportar side scan sonar, sonar de abertura sintética, sonar interferométrico, sonar para detecção de obstáculos, ecobatímetro multifeixe, CTD e câmeras de vídeo com iluminação.



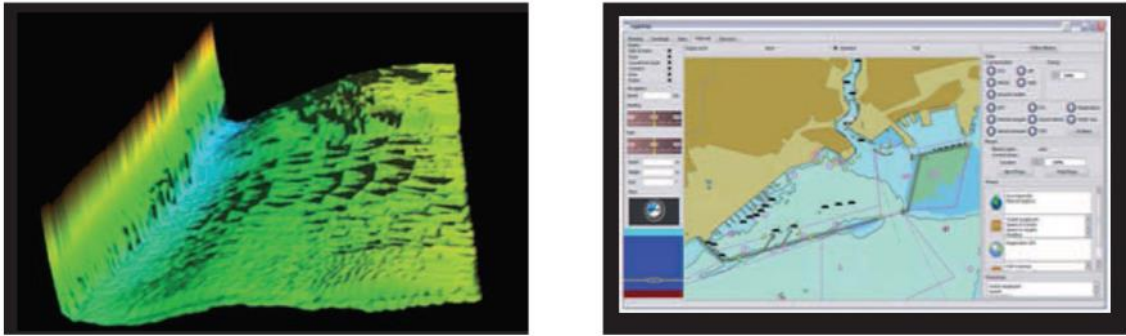


Figura 45: Na esquerda, dados de ecobatímetro multifeixe. Na direita, a tela do painel para supervisão do veículo.

Tabela 10: Especificações técnicas do Alister 18.

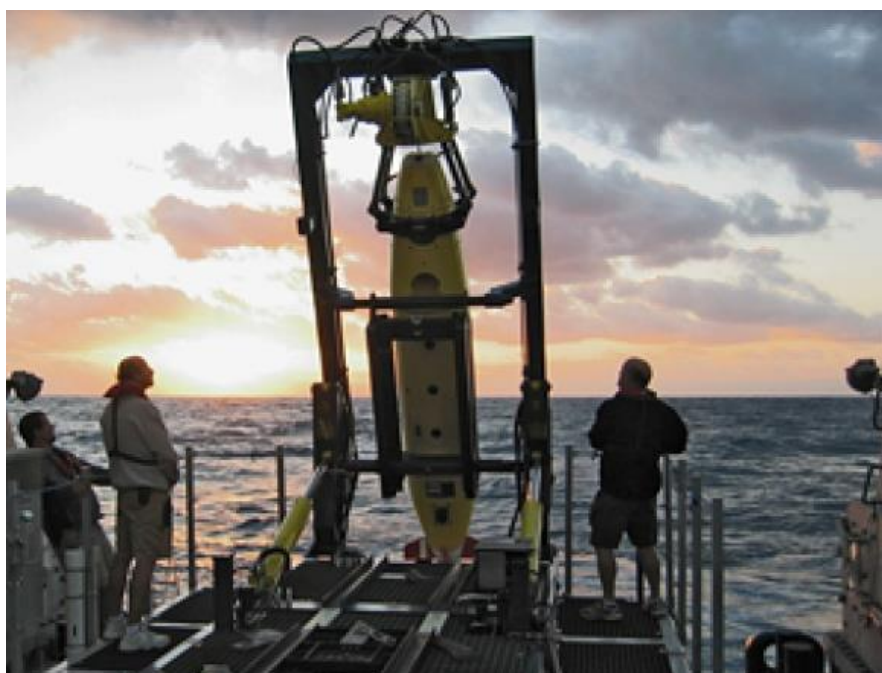
Diâmetro	465 mm
Comprimento	3,5 – 4,6 m
Peso	290 – 440 kg
Profundidade	600 m
Autonomia	24 horas a 3 nós
Velocidade	3 nós

Uma opção interessante no Alister 18 é o Alister 18 Twin, que nada mais é que dois AUVs acoplados um ao outro. Apesar de oferecer os mesmos *payloads* do Alister 18, esse arranjo oferece uma nova gama de utilizações para o sistema além de maior estabilidade durante as missões.



*Figura 46: Alister 18 Twin*

**iii. Remus 6000:**



*Figura 47: Remus 6000*

O Remus 6000 é o maior veículo da família Remus, o que o possibilita de oferecer mais espaço e potência para as missões. Apesar de contar com o mesmo software dos seus irmãos menores, o 6000 tem a habilidade de ir mais longe e mais

profundo devido a sua robustez. Utiliza navegação acústica para missões independentes enquanto adquire dados.

Foi desenvolvido em conjunto entre o *Naval Oceanographic Office*, e o *Woods Hole Oceanographic Institution* (WHOI). Sua navegação é feita através de uma unidade de navegação inercial, ADCP, e um sistema de detecção de obstáculos. Para comunicação estão acoplados transdutores para sinais acústicos na parte superior e inferior do veículo, receptor de GPS e antena wifi.

Side scan sonar de dupla frequência, câmera de vídeo com iluminação, ecobatímetro multifeixe, sub-bottom profiler e CTD são os instrumentos que podem ser acoplados à estrutura do Remus 6000.

*Tabela 11: Especificações técnicas do Remus 6000.*

Diâmetro	71 cm
Comprimento	3,84 m
Peso	862 kg
Profundidade	25 – 6000 m
Autonomia	22 horas
Velocidade	5 nós

## **11. Estudos de caso:**

### **a. Indústria do Petróleo:**

A busca por hidrocarbonetos tem levado a indústria do petróleo a profundidades cada vez maiores e a gigante do petróleo BP (British Petroleum) vem utilizando com frequência AUVs em seus levantamentos geofísicos. Side scan sonar, batimetria multifeixe e sub-bottom profiler são alguns dos sensores adquiridos para o desenvolvimento de campos de petróleo no Golfo do México e no Mar do

Norte, com profundidades variando de 500 a 2300 metros e de 80 à 120 metros respectivamente (Bingham, D., Drake, T., Hill, A., Lott, R., 2002).

Duas limitações foram identificadas inicialmente, a primeira foi a bateria que limita a duração da missão e os sensores utilizados no equipamento. A segunda foi o controle do veículo, embora todos os componentes para a navegação, incluindo o sistema de navegação inercial, já estivessem disponíveis, eles ainda não haviam sido integrados num único AUV comercial.

A BP não possui nem opera AUVs, por isso precisou contratar prestadoras de serviços e as escolhidas foram: A C&C Technologies que conta com um Hugin 3000 construído pela norueguesa Kongsberg Simrad e foi utilizado por vários meses no Golfo do México em profundidades de até 2300 metros. E a sul-africana De Beers que opera um Maridian 600, construído pela Maridan da Dinamarca e foi utilizado no Mar do Norte em conjunto com a Gardline Surveys do Reino Unido.

A grande vantagem verificada no levantamento foi a melhora significativa na qualidade dos dados. O Hugin 3000 foi capaz de adquirir dados de qualidade muito superior em águas profundas do que sistemas rebocados que utilizaram conjuntos de sensores similares na mesma área. Os dados de água rasa também contaram com grandes avanços. Essa diferença foi atribuída à maior estabilidade que os AUVs oferecem, além da proximidade da localização dos sensores, o que remove problemas de posicionamento. A justificativa para a utilização da tecnologia mais dispendiosa é a capacidade de visualizar feições que podem ser significantes para o entendimento de possíveis riscos e que não seriam vistas com outros equipamentos, oferecendo melhores projetos e instalações de estruturas no fundo marinho.

Mas nem tudo é perfeito, apesar de soberbos, os dados ainda apresentam alguns problemas inerentes a veículos tão complexos que precisam de diversos sistemas acústicos trabalhando muito próximos uns dos outros sem interferências. Outro problema são as condições como os veículos são lançados e principalmente recuperados. As condições de mar são fatores limitantes principalmente no Mar do Norte onde ondas de 6 metros são normais à qualquer época do ano. O tempo entre o mergulho e a recuperação é um fator crucial no sucesso comercial dos AUVs, pois quanto mais longa é a capacidade do veículo menos frequente é a dependência das condições do mar e menos tempo será perdido entre as missões.

As 4-5 horas de autonomia do Maridan da De Beers é um problema sério para operações na indústria do petróleo. Por outro lado, durante os 6 meses de mergulhos realizados com o Hugin 3000 no Golfo do México, autônominas médias de até 40 horas foram atingidas.

O Hugin 3000 não é considerado um sistema estritamente autônomo, mas sim um sistema sem ligação física com uma embarcação de suporte. Ele mantém contato constante com um navio que através de diversos links acústicos consegue fornecer dados de posicionamento através de USBL, que atualiza e corrige os dados do sistema de navegação inercial, além de receber previsões dos dados o que possibilita interpretações e replanejamento das missões durante o mergulho. A desvantagem desse tipo de conexão é a necessidade da presença do navio de apoio que aumenta o custo do levantamento. Por outro lado, no sistema do Maridan depois do lançamento o navio fica liberado para fazer outros estudos como as operações de *vibrocoring* que foram realizadas no decorrer das missões. O sistema do Maridan também possui ligação acústica para verificar se os sensores estão ligados ou não, mas este não fornece nenhum tipo de dado preliminar.

Ao final do estudo, ficou concluído que os AUVs são uma tecnologia emergente que já é capaz de proporcionar conjuntos de dados de ótima qualidade. Algumas melhorias ainda são necessárias e certamente avanços virão e o mercado offshore só tem a ganhar com isso.

#### **b. Indústria da pesca:**

Os métodos acústicos têm sido amplamente difundidos na indústria da pesca para localização de cardumes, determinação do tamanho da população e estudos ambientais (MacLennan, D. N., Holliday, D. V., 1996). Lições como o colapso da pesca de bacalhau no Canadá fizeram com que os apoiadores da utilização de sonares procurassem soluções ainda mais modernas (Walters, C., Maguire, J. J., 1996.). As tecnologias mais comuns utilizam dados de ecobatímetros científicos que determinam a densidade de peixes (MacLennan, D. N., Simmonds, E. J., 1992.), essa densidade é então convertida em estimativas de áreas de abundância das espécies (Simmonds, E. J., Williamson, N. J., Gerlotto, F., Aglen, A., 1992). Os transdutores geralmente são acoplados aos cascos das embarcações ou rebocados,

em ambos os equipamentos ficam a alguns metros de profundidade. Conseqüentemente, cerca de 10 metros da parte superior da coluna d'água não é estudado (Aglen, A., 1994). Uma área de aproximadamente 2 metros próxima ao fundo também não é vista e pode aumentar com o distanciamento do transdutor (Mitson, R. B., 1983). Restrições físicas na propagação do som de longo alcance também evita que dados acústicos sejam coletados de áreas profundas. Muitas espécies como bacalhau, haddock e badejo habitam essas áreas e não podem ser detectados.

Além da pesca em latitudes temperadas, grandes áreas dos oceanos polares estão permanentemente ou sazonalmente cobertas de gelo. Apesar de sua aparência estéril, o gelo marinho é um habitat de grande importância ecológica mas as limitações inerentes à amostragem com plataformas convencionais deixaram a região pouco conhecida (Brierley, A. S., Thomas, D. N., 2002).

A aplicação de AUVs como plataformas para a acústica de pesca é semelhante ao seu papel na exploração offshore: eles oferecem estabilidade e capacidade de acoplar transdutores acústicos, elementos eletrônicos e de armazenamento de dados que juntos podem ser configurados para operar em profundidade.

Em 1999 o navio RV Scotia utilizou o Autosub-1 do Centro Oceanográfico de Southampton em estudos voltados para a pesca no Mar do Norte. O AUV foi utilizado para atingir uma série de objetivos do projeto USIPS (sigla para, *Under-Sea Ice and Pelagic Surveys*). Um total de treze missões foram realizadas com sucesso, sendo oito delas totalmente autônomas. Os transdutores foram acoplados tanto na parte superior (120 kHz) quanto na inferior (38 kHz) do veículo, tornando assim possível a aquisição de dados de toda coluna d'água incluindo a superfície da água. Os dados das missões no Mar do Norte, onde o AUV operou a profundidades iguais ou superiores a 20m foram utilizados principalmente na detecção de peixes na zona superior. Outras observações dos dados de superfície revelaram perfis de mergulho de gansos do norte (*Sula bassana*) e dados simultâneos sobre a distribuição de peixes e zooplânctons (Brierley, A. S., Fernandes, P. G., 2001).

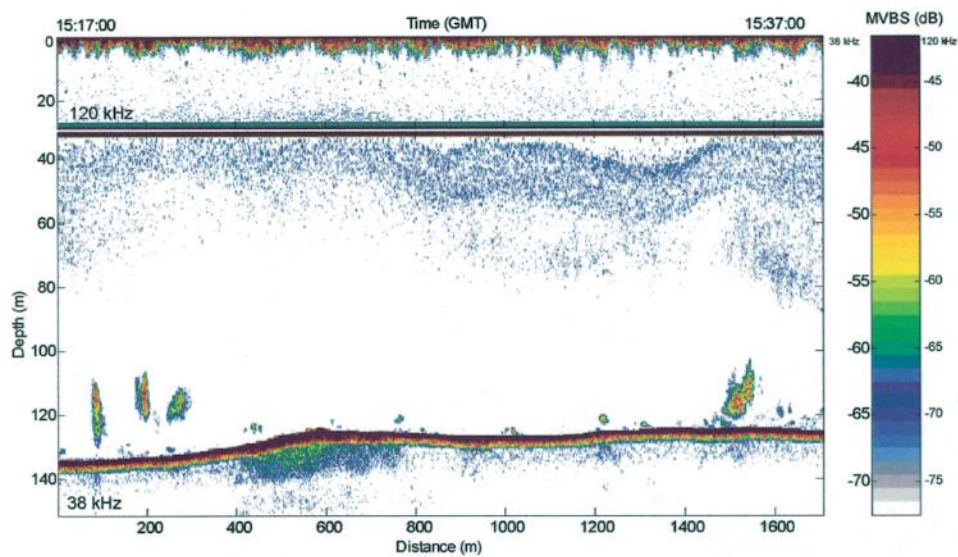


Figura 48: Uma composição das seções geradas pelo Autosub-1. Sendo o transdutor de 120 kHz orientado para cima (imagem superior) e o de 38 kHz para baixo (imagem inferior). Observam-se quatro concentrações próximas ao fundo que provavelmente são cardumes de arenque (Fernandes, P. G., Stevenson, P., Brierley, A. S., Armstrong, F., Simmonds, E. J., 2003).

O Autosub-1 foi também utilizado para estudar o incomodo causado nos peixes pelo RV Scotia, que foi o primeiro barco a ser construído pela ICES (sigla para, *International Council for the Exploration of the Sea*) com projeto específico para limitar a emissão de ruídos. O experimento foi realizado com o AUV fazendo medidas sobre a densidade de peixes a frente do navio. Se comparado aos 68 metros do Scotia, o Autosub-1 era pequeno e muito silencioso em relação aos ruídos do ambiente. Ao final, os dados adquiridos pelo AUV não eram significativamente diferentes dos coletados pelo navio o que concluiu que os peixes não eram afugentados pelo barulho do silencioso Scotia (Freon, P., and Misund, O. A. 1999.).

O projeto USIPS também utilizou o Autosub-2 em mergulhos sob o gelo da Antártica no que foi o primeiro mergulho contínuo de pesquisa acústica sobre o krill (*Euphausia superba*) em seu habitat e em estudos sobre a espessura do gelo com resultados somente vistos anteriormente em missões militares (Brierley, A. S., Fernandes, P. G., Brandon, M. A., Armstrong, F., Millard, N. W., McPhail, S. D., Stevenson, P., Pebody, M., Perrett, J., Squires, M., Bone, D. G., and Griffiths, G. 2002.).

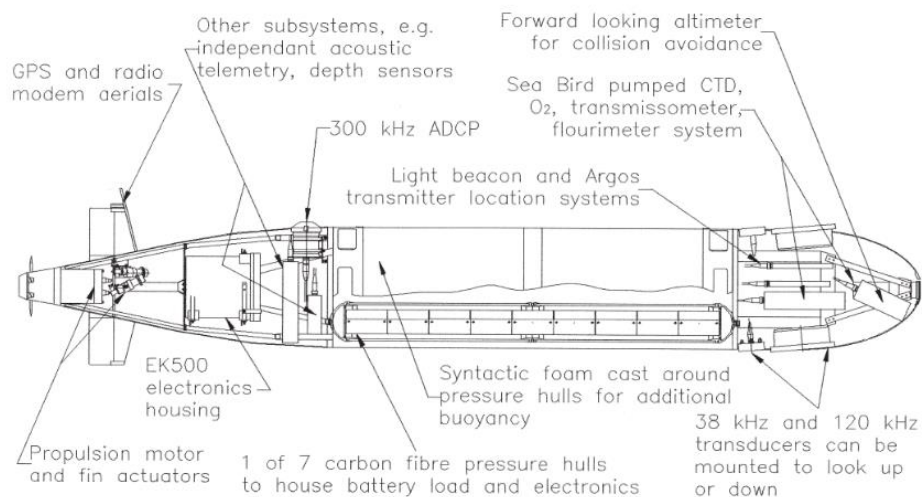


Figura 49: Uma visão esquemática do Autosub-2 equipado com o ecobatímetro multi-frequências Simrad EK500 para levantamentos acústicos sobre a fauna aquática.

Em muitos aspectos, os AUVs são plataformas ideais para pesquisas acústicas. Eles podem ser dirigidos a uma variedade de níveis de profundidade da coluna de água e, por serem extremamente silenciosos, podem aproximar-se dos recursos sem causar distúrbios em seu comportamento natural. Essa proximidade permite também a utilização de transdutores de alta frequência, se necessário, aumentando a resolução do dado. A incorporação de rastreamento de alvos e softwares mais inteligentes que o conectam ao controle de navegação poderia permitir que AUVs acompanhem o comportamento de peixes ou mamíferos (Fernandes, P. G., Brierley, A., Simmonds, E. J., Millard, N. W., McPhail, S. D., Armstrong, F., Stevenson, P., and Squires, M. 2000a.).

Tabela 12: Alguns modelos de AUV que podem ser utilizados na pesca.

Nome	Fabricante	Tamanho (comp x diam)	Peso (kg)	Velocidade (m/s)	Alcance máximo (km)	Profundidade máxima (m)
<b>Delphini</b>	Bluefin	3,4 x 0,53	400	1,5	111	3000
<b>Hugin</b>	Kongsberg	5,35 x 1	-	2	-	3000
<b>Maridan 600</b>	Maridan	4,5 x 2,0	1700	3,5	24 horas	600



<b>Sea Oracle</b>	Bluefin	2 – 6	-	1,5	-	3000
-------------------	---------	-------	---	-----	---	------

Atualmente há pelo menos dois grandes inconvenientes com AUVs como plataformas de amostragem para a acústica de pesca: alcance operacional e identificação de alvos. Mesmo com a tecnologia mais eficaz, a durabilidade máxima da bateria do Autosub-1, por exemplo, é de 750 km. Isso é cerca de um terço da distância percorrida pela Scotia durante um levantamento acústico típico.

O segundo grande problema atual no uso de AUVs para a acústica da pesca é a identificação de alvos: AUVs não podem, e muito provavelmente nunca poderão capturar peixes. No entanto, a identificação remota utilizando métodos acústicos tiveram avanços razoáveis com ecobatímetros de frequência única. A expectativa é que esse sucesso prossiga com a utilização de ecobatímetros multi-frequência e sistemas Chirp que podem até mesmo ser capazes de discriminar os tamanhos dos peixes.

### **c. Monitoramento ambiental:**

A maioria dos AUVs são projetados em forma de torpedo, enquanto outros são em forma de cubo. A forma de torpedo aumenta a estabilidade, mas não tem capacidade de realizar manobras precisas. Os veículos em forma de cubo permitem uma navegação mais exata, mas não se movem de forma eficiente devido à grande quantidade de arrasto inerente à sua forma (Stevenson, P., Furlong, M., Dormer, D., 2007). Além disso, a maioria dos veículos submarinos em uso são muito grandes e pesados, tornando o lançamento e a recuperação difíceis para as pequenas equipes. Além disso, geralmente estes veículos submarinos tem um preço extremamente elevado, tornando-os indisponíveis para muitas equipes de pesquisa.

Ao longo dos últimos anos, o grupo iBotics de San Diego, que consiste de estudantes de várias universidades de San Diego, construíram um AUV para participar da *AUVSI & ONR's Annual International AUV Competition*. A abordagem que a iBotics leva a esta competição não é apenas de competir como uma organização estudantil, mas também de moldar o futuro dos veículos submarinos

trabalhando para criar a próxima geração de tecnologia de AUV (Barngrover, C., Denewiler, T., Greg Mills, G., Kastner, R.). O resultado desses esforços é o Stingray. O Stingray é um AUV que foi projetado com as dificuldades mencionadas acima em mente. O veículo tem uma concha de fibra de carbono, com um design biomimético, permitindo a movimentação eficiente através da água. O veículo usa um sistema de propulsão única que inclui duas hélices para controle e proporcionam uma manobrabilidade precisa em baixas velocidades e a capacidade de planar (Jrgens, B., Fork, W., 2002).



*Figura 50: Modelo sólido do Stingray e na água acompanhado de um mergulhador*

Existem duas caixas isoladas no Stingray: a do computador e a da bateria. Elas guardam os eletrônicos e as baterias que controlam e alimentam o sistema. Durante os mergulhos o casco fica completamente inundado e a pressão suportada por essas caixas é que determina o potencial de mergulho do veículo.

O Stingray também possui uma série de sensores para controle e percepção. Os sensores de controle incluem uma bússola para orientação, bem como um sensor de pressão para a profundidade. Os sensores de percepção são câmeras para detectar objetos feitos pelo homem e sonares passivos para localizar transdutores acústico com o objetivo de proporcionar auto-localização para navegação.

O objetivo do projeto Stingray era criar uma ferramenta leve e de baixo custo. O custo foi contido com a utilização de sensores, caixas eletrônicas e propulsores. O Stingray tem um peso seco de cerca de 10 kg e pode ser facilmente transportado por uma pessoa, o que é extremamente leve em comparação com outros veículos

semelhantes que podem pesar 40 kg ou mais. O peso foi reduzido por conta do casco pequeno e de fibra de carbono.



*Figura 51: Casco de fibra de carbono e Stingray finalizado com a tampa aberta.*

A solução de software para o Stingray foi inteiramente concebida a partir do zero. A arquitetura do sistema utiliza módulos individuais responsáveis por tarefas individuais. Há quatro módulos principais e, em seguida, uma série de módulos especializados. Como primeiro módulo principal foi implementado a navegação (NAV), que é responsável pelos controles. Em seguida, implementou-se um módulo GUI, a fim de se comunicar com o veículo e alterar configurações ou ganhos. Os outros dois módulos são o módulo de visão e o módulo de planejamento. A comunicação entre os módulos é um sistema de mensagens proprietário usando TCP / IP, que permite flexibilidade, mas requer um esforço extra para a manutenção do protocolo.

O principal módulo para a utilização deste veículo em levantamentos de monitoramento ambiental é o de visão (ou *Vision*) onde o sistema fornece informações sobre a posição relativa a partir de imagens de câmeras subaquáticas. O detector de imagens capta os dados a partir das câmaras montadas na parte da frente e na parte inferior do casco, e as imagens são, então, processados com a detecção de objetos e algoritmos de reconhecimento.

Abaixo vemos exemplos de detecção de cores específicas de bóias feitos pelo Stingray. O lado direito das imagens mostra o resultado binário do algoritmo e o lado esquerdo mostra um círculo verde em torno do objeto detectado.



*Figura 52: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia verde.*

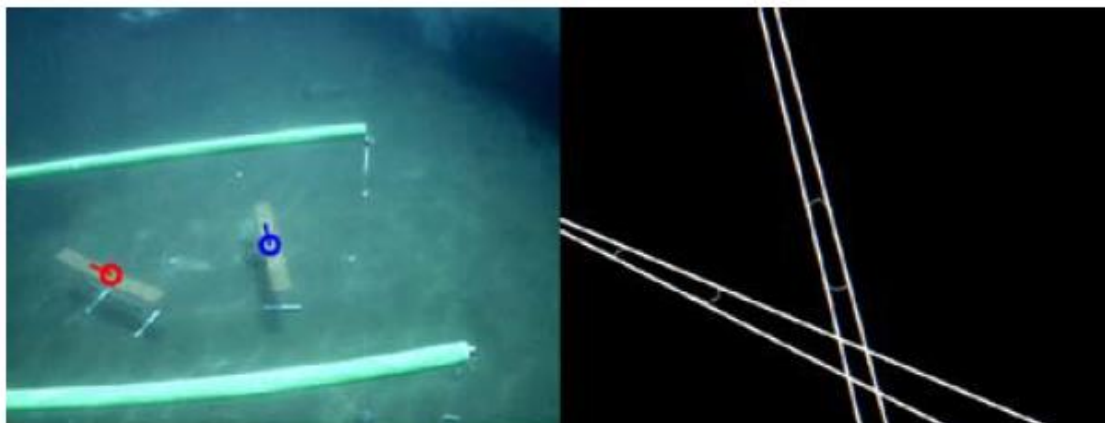


*Figura 53: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia amarela.*



*Figura 54: Tarefa realizada pelo Vision para encontrar a bóia vermelha.*

A imagem a seguir mostra a detecção e orientação de dois dutos. A imagem à direita mostra um esboço dos dutos a partir da imagem binária. À esquerda podemos ver a orientação estimada dos dutos em vermelho e azul.



*Figura 55: Tarefa realizada pelo Vision para determinar a localização e a orientação de dois dutos.*

#### **d. Militar:**

Desde o início da década de 1990, o programa militar norueguês para desenvolvimento de AUVs tem sido associada ao programa da linha comercial HUGIN. A partir de um conjunto comum de recursos, soluções de longo prazo para aplicações militares foram desenvolvidas juntamente com sistemas robustos e fáceis de usar para os clientes civis (Hagen, P. E., 2000). O sucesso comercial do sistema HUGIN 3000 levou a uma maior sinergia entre os dois programas.

O HUGIN I foi construído entre 1995 e 1996 com o intuito de pesquisar, desenvolver, testar e demonstrar o sistema, o que impôs algumas restrições bastante rígidas para o uso operacional diário. Por exemplo, ele tem uma resistência de apenas 5 horas, muito pouco em comparação com os veículos comerciais HUGIN 3000, que possuem cerca de 50 horas de bateria. No entanto, o HUGIN I pôde dar uma primeira amostra valiosa do que os AUVs podem oferecer à comunidade militar.

Em 2002 o localizador de minas KNM Karmøy da Marinha Real Norueguesa foi mobilizado para o uso permanente de um AUV da linha HUGIN. Num primeiro momento o veículo foi bastante utilizado para coletar dados ambientais de alta

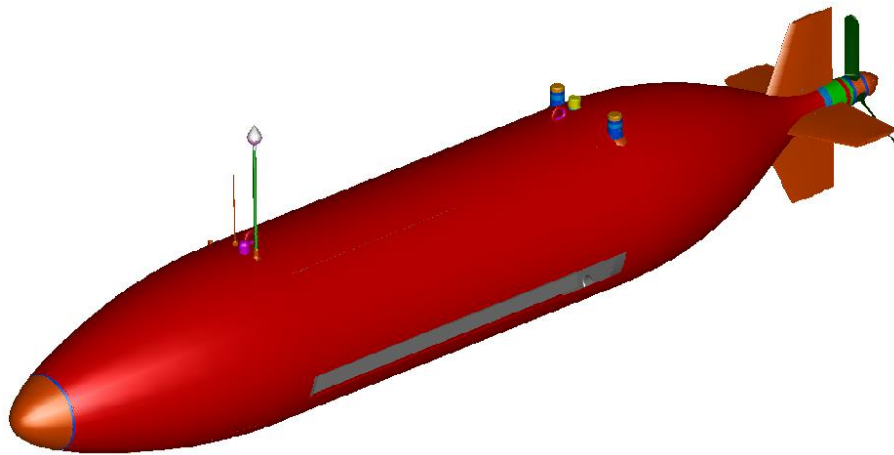
qualidade em áreas de vital importância militar, enquanto os oficiais desenvolviam alguma experiência operacional. Todas as lições tiradas durante a utilização militar do HUGIN I foram repassadas diretamente para a Kongsberg Simrad, fabricante do equipamento, e para a FFI (*Norwegian Defence Research Establishment*), com o intuito de desenvolver o HUGIN MRS (*Sistema de reconhecimento de minas*).



*Figura 56: À esquerda uma foto do KNM Karmøy, à direita o HUGIN I no deck do KNM Karmøy momentos antes do lançamento.*

Especificações do primeiro HUGIN MRS a operar com capacidade total:

- Dimensões: 4,4 m de comprimento, 75 cm de diâmetro, 1,4 m<sup>3</sup> de volume
- Velocidade de cruzeiro: 4 knots, velocidade operacional 2-6 knots
- Tempo de bateria: 18-30 horas, dependendo da velocidade, utilização dos sensores e quantidade de módulos de bateria
- Sensores acoplados:
  - Sonar interferométrico, resolução < 5x5 cm, taxa de cobertura de área > 1000 m<sup>2</sup>/s
  - Multi-beam echo sounder de alta resolução (MBE)
  - Acoustic Doppler current profiler (ADCP)
  - Sensor de condutividade, temperatura e profundidade (CTD) sensor
- Sistema de navegação:
  - Sistema de navegação inercial (INS)
  - Registro da velocidade Doppler
  - GPS ou DGPS (na superfície)
  - Posicionamento acústico por USBL - HiPAP (quando assistido por um navio na superfície) (Mandt, M., Gade, K., Jalving, B., 2001)
  - Navegação batimétrica (Hagen, O. K., Hagen, P. E., 2001)



*Figura 57: Imagem do projeto do HUGIN Mine Reconnaissance System AUV a bordo do KNM Karmøy.*

Apesar do foco principal no desenvolvimento do projeto seja a localização de minas, o HUGIN MRS tem a capacidade de realizar diversos outros trabalhos como mapeamento batimétrico de alta qualidade, detecção de correntes, objetos e tipos de fundo marinho, entre outros.

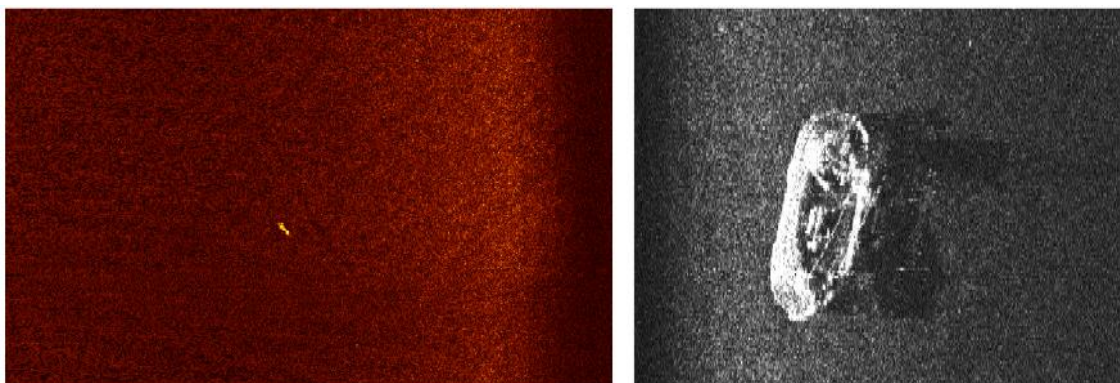
A adaptação do KNM Karmøy incluiu a instalação de um sistema de lançamento e recuperação, sistemas de posicionamento e comunicação acústica e integração com a navegação do navio. O sistema de lançamento e recuperação em forma de plataforma instalado na popa da embarcação era semelhante aos utilizados pelos clientes comerciais da linha HUGIN até hoje.

O sistema de posicionamento acústico instalado foi o USBL líder de mercado Kongsberg Simrad HiPaP. Esse sistema permite o posicionamento acústico preciso do AUV em qualquer profundidade, e também serve como um elo de comunicação bidirecional de emergência. O transdutor do HiPaP é montado em um dos cascos do

navio, e pode ser introduzido alguns metros dentro d'água, utilizando um braço telescópico. Embora o objetivo de instalar o sistema HiPAP à bordo do KNM Karmøy era proporcionar o posicionamento preciso para o HUGIN, ele também pode ser usado para outras tarefas, como por exemplo a localização de minas simuladas com *beacons*.

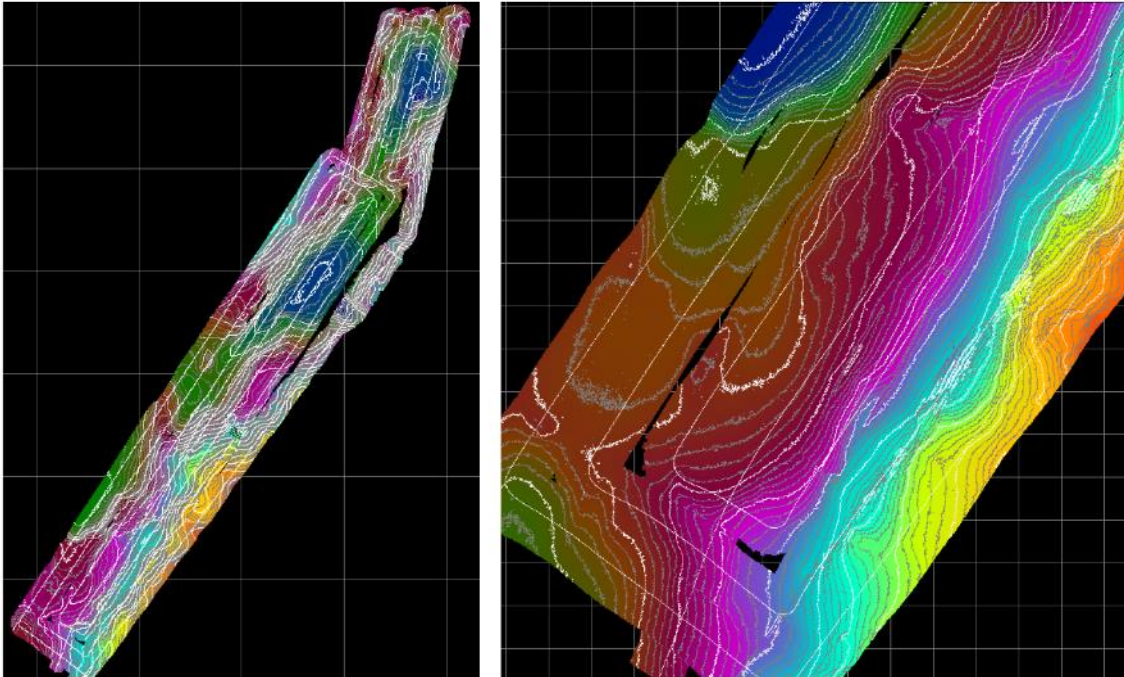
Os sistemas operacionais para o HUGIN e o HiPAP foram instalados na sala de operações principal. Uma nova "rede HUGIN" foi instalada, conectada ao sistema tático do navio. Isso permite o fluxo de dados de posição, aproamento, atitude e tempo para o AUV. Embora o KNM Karmøy fosse uma embarcação moderna, ela não fora projetada para a operação de AUVs. A relativa facilidade com que os sistemas de apoio foram instalados, demonstra que o custo de realizar tal atualização pode muitas vezes ser bem administrável.

Os veículos HUGIN projetados para utilização por civis percorreram cerca de 30.000 km ao redor de quatro continentes, do calor tropical ao inverno artico, para dezenas de diferentes clientes (Vestgård, K., Klepaker, R. A., Størkersen, N., 2003). A enorme experiência adquirida levou a inúmeras melhorias no sistema HUGIN, e ajudou no desenvolvimento do HUGIN MRS em termos de capacidades e flexibilidade operacional.



*Figura 58: Imagens do side scan sonar do HUGIN I. À esquerda uma mina no fundo marinho a aproximadamente 50 metros de distância e à direita um pequeno barco naufragado (aproximadamente 20x5 metros). Lâmina d'água de 180-200m, altitude 15m.*





*Figura 59: Dados batimétricos coletados durante duas missões do HUGIN I na Noruega. Lâmina d'água de 20-120 metros, contornos cinzas 1 metro, contornos brancos 5 metros. À esquerda a área completa (aproximadamente 500x4000 m) e à direita imagem detalhada mostrando o perfeito alinhamento entre as 8 linhas do AUV.*

Utilizando o veículo de teste e pesquisa HUGIN I, a Marinha Real da Noruega já começou a utilização operacional dos AUVs para fins diversos, e os sistemas AUV já estão apresentando contribuições valiosas e a utilização do HUGIN MRS aumentará a flexibilidade e a capacidade operacional drasticamente. Em paralelo com o desenvolvimento, produção e avaliação do HUGIN MRS, a FFI e a Marinha estão desenvolvendo conceitos e melhoras na operação para as várias funções deste sistema. Tais descrições operacionais serão extremamente úteis no planejamento de novas operações e na introdução do HUGIN MRS para novos usuários (Hagen, P. E., Størkersen, N., 2003).

**e. Detecção de destroços:**

Na manhã do dia 8 de Março de 2014, o voo MH370 da Malaysia Airlines, de Kuala Lumpur para Pequim, perdeu contato com o controle de tráfego aéreo logo

após a decolagem e desapareceu. Enquanto o mundo esperava por algum sinal da aeronave desaparecida e das 239 pessoas a bordo, as autoridades e os cientistas começaram a investigar a pouca informação que se sabia sobre a trajetória real do avião. Enquanto os dias e as semanas se passaram, a procura começou a concentrar-se no Oceano Índico, a oeste da Austrália, numa área distante do caminho pretendido pelo voo. Pistas sobre como o avião se distanciou tanto do curso podem estar nas caixas pretas, onde são armazenados os dados de voo e os registros das vozes na cabine. Encontrar os caixas é, portanto, uma prioridade. Pouco se sabe sobre o fundo do mar na região onde acredita-se que o vôo MH370 possa ter caído. Medições de profundidade disponíveis cobrem apenas 5% da área de 2000 por 1400 quilômetros e apenas alguns poucos deles foram adquiridos com acústica moderna e sistemas de navegação (Smith, W. H. F., Sandwell, D. T., 1997). Esta falta de dados torna a busca pelo MH370 ainda mais difícil (Carron, M. J., Vogt, P.R., W. Y. Jung, 2001).

Quando a aeronave desapareceu, a pesquisa concentrou-se inicialmente no Golfo da Tailândia e do Mar do Sul da China, ao longo da trajetória de voo de Kuala Lumpur para Pequim. Depois de alguns dias, os relatos de possíveis contatos de radar fizeram com que a busca se expandisse para o oeste, do outro lado da península malaia para o Estreito de Malaca e o Mar de Andaman. Mais tarde, a procura foi ampliada ainda mais oeste no Oceano Índico, quando se percebeu que o sistema de comunicação por satélite do avião havia permanecido operante por várias horas. Esta análise foi combinada com as estimativas de quando o avião poderia ter ficado sem combustível e assim sugeriu-se que a aeronave possa estar em qualquer lugar em uma grande área do Oceano Índico a oeste da Austrália. As caixas-pretas do Boeing 777 foram equipados com "pingers" programados para emitir sinais acústicos caso caíssem no mar com duração estimada da bateria de aproximadamente um mês (Smith, W. H. F., Marks, K. M., 2010).



Figura 60: Local do último contato e desaparecimento dos radares, sobre o Golfo da Tailândia.

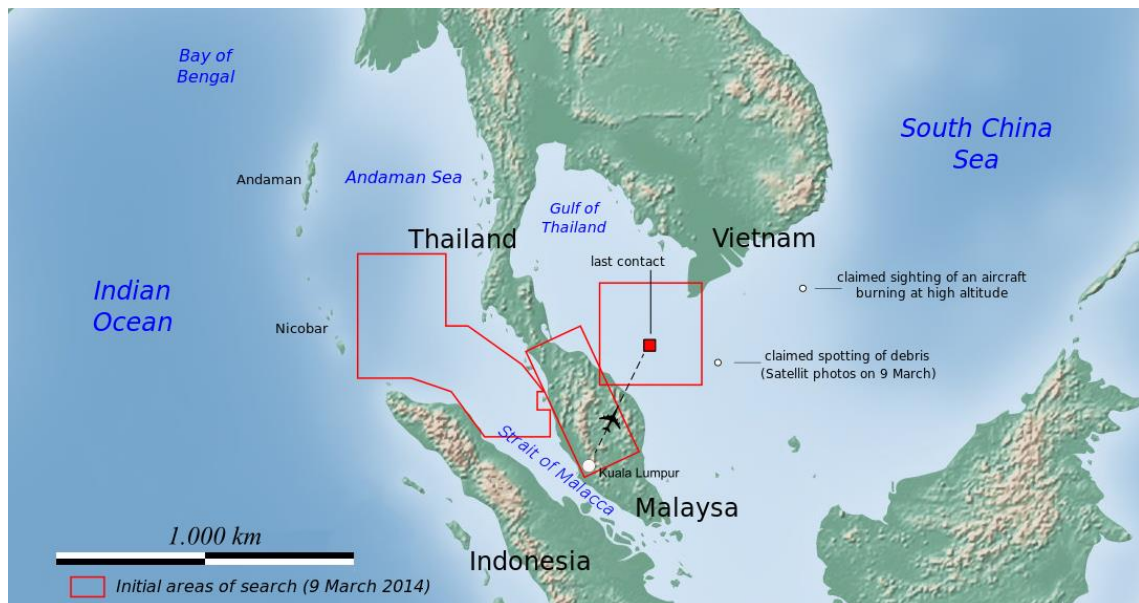


Figura 61: Áreas iniciais de buscas definidas entre 9 e 11 de março.



Figura 62: O Estreito de Malaca, sobre o qual o voo foi detectado por radares militares, cerca de uma hora depois do último contato.

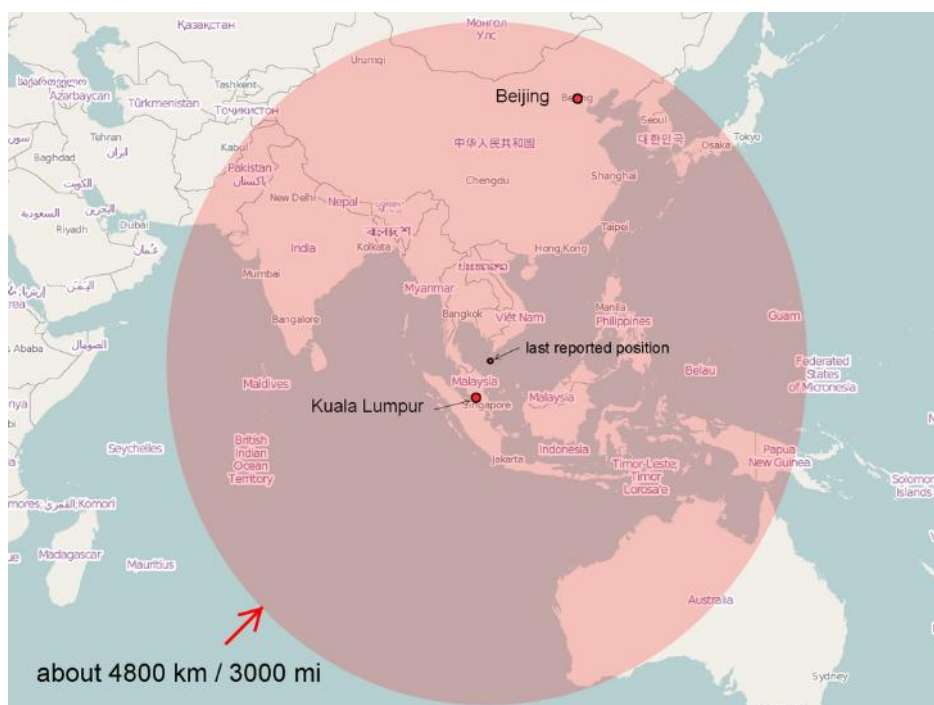


Figura 63: Área onde teoricamente o avião poderia ser encontrado.

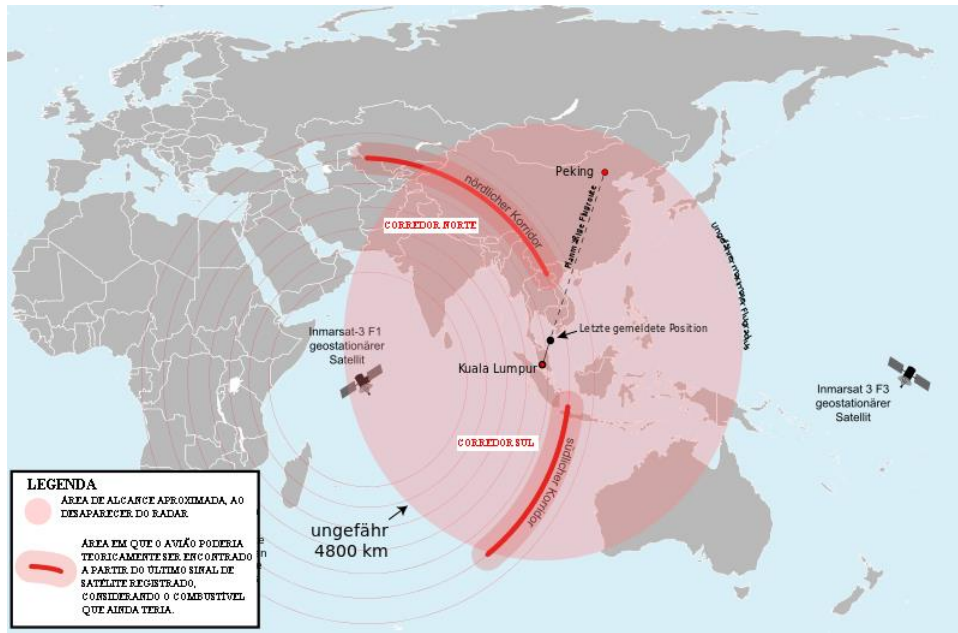


Figura 64: Os corredores norte e sul, onde se concentraram as buscas a partir de 16 de março.



Figura 65: O equipamento Towed pinger locator.



Figura 66: O AUV Bluefin 21 sendo lançado para sua primeira missão, em 14 de abril.

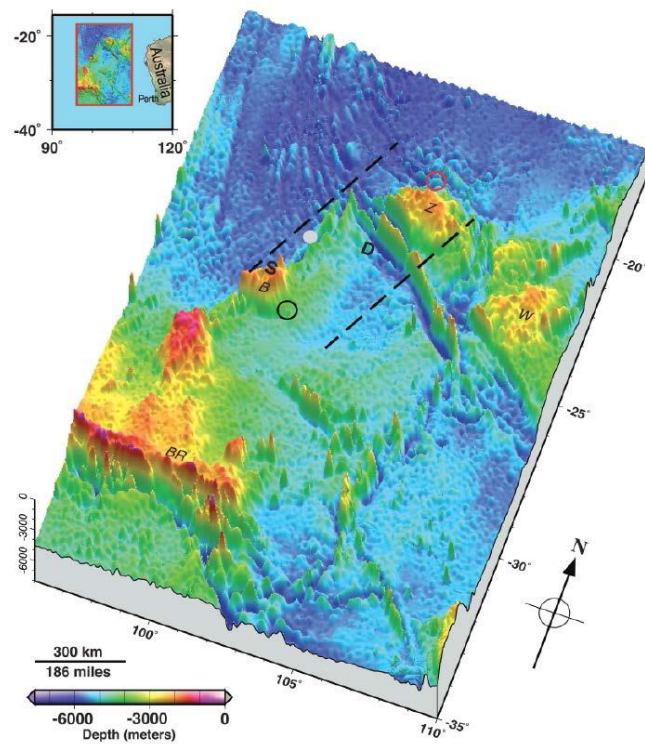


Figura 67: Batimetria da área de busca do voo MH370. As linhas tracejadas marcam a zona aproximada de onde foram emitidos os pings que podem ter sido emitidos

*pelas caixas pretas. O primeiro contato do sonar foi detectado por navio chinês no ponto “B” onde a menor profundidade é estimada em 1637 metros no ponto “S”. O segundo contato do sonar foi recebido por uma embarcação australiana e está sinalizada pelo círculo vermelho e o ponto mais profundo na área está marcado pelo “D”, é a zona de fratura Wallaby-Zenith e a profundidade estimada é de 7883 metros. Na parte superior esquerda está mostra a localização da área a oeste da Austrália (General Bathymetric Chart of the Oceans, 2010).*

Entre os dias 14 e 17 de abril de 2014, foram realizadas três missões com o AUV Bluefin 21, capaz de realizar levantamentos batimétricos. O veículo foi enviado à área em que foram captados os sinais acústicos pelo TPL (*Towed pinger locator*), rastreando cerca de 90 km<sup>2</sup>, mas nenhuma das incursões mostrou nada de significativo. Cada missão teve duração aproximada de 16 horas e o equipamento chegou a ultrapassar a profundidade operacional recomendada pelo fabricante, que é de 4 500 metros.

Entre 18 e 21 de abril, mais cinco incursões do Bluefin 21 foram realizadas, totalizando oito operações em uma semana. Foram rastreados dois terços da superfície delimitada, sem nenhum sucesso.

Entre 22 e 25 de abril, foram realizadas mais cinco incursões, totalizando treze operações. Passadas quase sete semanas desde o desaparecimento, com 95% da área de busca pesquisada, nenhum destroço ou resquício do avião foi localizado.

## **12. Conclusão:**

Ao final do trabalho conclui-se que os AUVs já são uma realidade no mercado. Apresentam suas limitações, mas a gama de possibilidades que se abre com o desenvolvimento e a evolução de novas tecnologias faz desses veículos o melhor caminho a seguir.

Os pontos positivos dos AUVs são numerosos, além da melhor qualidade dos dados, as experiências comerciais já provaram que o custo de operações de survey em águas profundas pode ser reduzido de 40 à 60% com a utilização de AUVs. Tendo em vista as restrições orçamentais que a comunidade oceanográfica enfrenta e à necessidade de dados de alta qualidade, seria muito insensato ignorar o potencial desses veículos.



### 13. Referências Bibliográficas:

- Aglen, A. 1994. Sources of error in acoustic estimation of fish abundance. In *Marine Fish Behaviour in Capture and Abundance Estimation*, pp. 107–133. Ed. by A. Ferno, and S. Olsen. Fishing News Books, Oxford.
- Barngrover, C., Denewiler, T., Greg Mills, G., Kastner, R., *The Stingray AUV: A Small And Cost-Effective Solution for Ecological Monitoring*
- Bellingham, J., Goudey, C., Consi, T., Crhysostomidis, C., *A small long range autonomous vehicle for deep ocean exploration, 1992*
- Bingham, D., Drake, T., Hill, A., Lott, R., 2002, *The Application of Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Technology in the Oil Industry – Vision and Experiences: David Bingham, Tony Drake, Andrew Hill, Roger Lott*
- Blidberg, R, *The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV); A Brief Summary*
- Brierley, A. S., and Fernandes, P. G. 2001. Diving depths of northern gannets: acoustic observations of *Sula bassana* from na autonomous underwater vehicle. *The Auk*, 118: 529–534.
- Brierley, A. S., and Thomas, D. N. 2002. On the ecology of Southern Ocean pack ice. *Advances in Marine Biology*, 43: 173–278.
- Brierley, A. S., Fernandes, P. G., Brandon, M. A., Armstrong, F., Millard, N. W., McPhail, S. D., Stevenson, P., Pebody, M., Perrett, J., Squires, M., Bone, D. G., and Griffiths, G. 2002. Antarctic krill under sea ice: elevated abundance in a narrow band just south of ice edge. *Science*, 295: 1890–1892.
- Butler, B., Black, M., *The Theseus Autonomous Underwater Vehicle – Two Successful Missions, 1997*
- Carron, M. J., P. R. Vogt, and W.-Y. Jung (2001), A proposed international long-term project to systematically map the world's ocean floors from beach to trench: GOMaP (Global Ocean Mapping Program), *Int. Hydrogr. Rev.*, 2(3), 49–55.
- Chryssostomidis, C., Schmidt, H., *Autonomous Underwater Vehicles, 2006*
- Curtin, T. B., Bellingham, J. G., Catapovic, J., Webb, D., *Autonomous oceanographic sampling networks, 1993*

- Encyclopedia of Ocean Sciences, vol. 1, p. 579- 588
- Ewart, T. E., Observations form Straight Line Isobaric Runs of SPURV, 1976
- Fernandes, P. G., Brierley, A., Simmonds, E. J., Millard, N. W., McPhail, S. D., Armstrong, F., Stevenson, P., and Squires, M. 2000a. Fish do not avoid survey vessels. *Nature*, 404: 35–36.
- Fox, C. G., Objective classification of oceanic ridge-crest terrains using two-dimensional spectral models of bathymetry, 1996
- Freon, P., and Misund, O. A. 1999. Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment. Fishing News Books, Oxford, 348 pp.
- General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) (2010), GEBCO\_08 grid, version 20100927, [http://www.gebco.net/dataandproducts/gridded\\_bathymetrydata/](http://www.gebco.net/dataandproducts/gridded_bathymetrydata/), Br. Oceanogr. Data Cent., Liverpool, U. K.
- Griffiths, G., Birch, K., et al, Oceanographic surveys with a 50 hour endurance autonomous underwater vehicle, 2000
- Hagen, O. K., Hagen, P. E. (2001): “Terrain Referenced Integrated Navigation for Underwater Vehicles”. Proc. GOATS 2000 Conference, SACLANTCEN Technical Report, La Spezia, Italy, August 2001.
- Hagen, P. E. (2000): “Dual Use Development: The HUGIN Untethered Underwater Vehicle”. Documentation from SMi conference Naval Mines, London, UK, November 2000.
- Hagen, P. E., Størkersen, N., (2003) “Operational military use of the HUGIN AUV in Norway”
- Jrgens, B., Fork, W., The fascination of the Voith-Schneider-Propeller: History and engineering. Hamburg: Koehler, 2002.
- Leonard, J. J., Bennett, A. A., Smith, C. M., Feder, H. J. S., Autonomous Underwater Vaheicle Navigation
- MacLennan, D. N., and Holliday, D. V. 1996. Fisheries and plankton acoustics: past, present, and future. *ICES Journal of Marine Science*, 532: 513–516.
- MacLennan, D. N., and Simmonds, E. J. 1992. Fisheries Acoustics. Chapman and Hall, London, 325 pp.

- Mandt, M., Gade, K., Jalving, B. (2001): "Integrating DGPS-USBL positioning measurements with inertial navigation in the HUGIN 3000 AUV". Proc. 8th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, Russia, May 2001.
- Michael, J. L., Le Roux, H., Epulard: Deep bottom surveys now with acoustic remote controlled vehicle, first operational experience, 1981
- Mitson, R. B. 1983. Acoustic detection and estimation of fish near the seabed and surface. FAO Fisheries Report, 300: 24–37.
- Newton, R. S., Stefanon, A., Application of side scan sonar in marine biology
- Paul G. Fernandes, Pete Stevenson, Andrew S. Brierley, Frederick Armstrong, E. John Simmonds 2003. Autonomous underwater vehicles: future platforms for fisheries acoustics.
- Procedimentos e treinamentos – Fugro Brasil – 2013/2014
- Rosa, E. D. L., Ingeniería de las Ondas I, 2007
- Simmonds, E. J., Williamson, N. J., Gerlotto, F., and Aglen, A. 1992. Acoustic survey design and analysis procedures: a comprehensive review of current practice. ICES Cooperative Research Report, No. 187. 127 pp.
- Smith, W. H. F., and D. T. Sandwell (1997), Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, 277(5334), 1956–1962, doi:10.1126/ science.277.5334.1956.
- Smith, W. H. F., Marks, K. M., Seafloor in the Malaysia Airlines Flight MH370 Search Area
- Stevenson, P., Furlong, M., Dormer, D., "Auv shapes - combining the practical and hydrodynamic considerations," in OCEANS 2007 - Europe, June 2007, pp. 1 –6.
- Vestgård, K., Klepaker, R. A., Størkersen, N. (2003): "5 Years of HUGIN AUV Offshore Surveying – What's Next?" Proc. Underwater Intervention 2003, New Orleans, LA, USA, February 2003.
- Vijay, S., Autonomous Underwater Vehicles
- von Alt, C. J., Allen, B., Austin, T., Stokey, R., Remote Environmental Measuring Units, 1994
- von Alt, C. J., Autonomous Underwater Vehicles, 2003

- Walters, C., and Maguire, J. J. 1996. Lessons for stock assessment from the northern cod collapse. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6: 125–137.