PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Paula Calderón Nunes

**AUV para inspeção e mapeamento de dutos e
equipamentos submarinos**

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica
da PUC-Rio

Orientador: Arthur Braga

Rio de Janeiro
Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, que me incentivaram a sempre buscar mais e foram essenciais em toda a minha educação, dentro e fora de sala de aula. Me apoiaram e auxiliaram em todas minhas decisões. Sem eles eu não estaria aqui. Agradeço aos meus irmãos e irmã, que sempre trouxeram leveza para minha vida nos momentos difíceis da trajetória da graduação.

Agradeço ao meu primo Iran Filho e minha prima Natália Tissiani, por terem me ajudado tão ativamente na confecção deste trabalho.

Durante a trajetória da graduação, foram diversos companheiros de aulas e estudos que me acrescentaram muito pessoalmente e profissionalmente.

Agradeço ao meu orientador, Arthur Braga, por aceitar o tema proposto por mim.

RESUMO

AUV para inspeção e mapeamento de dutos e equipamentos submarinos

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar uma das mais modernas tecnologias aplicadas ao mapeamento e inspeção de dutos submarinos, os AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles*, ou veículos Autônomos Subaquáticos). No desenvolvimento do trabalho, é mostrado o desenvolvimento do veículo autônomo ao longo da história, assim como o funcionamento e comparação dos métodos de mapeamento por AUV e por ROV, bem como a explicação de tais métodos, da inspeção e aquisição dos dados por AUV. Na parte final do trabalho é apresentado e discutido um estudo de caso hipotético no qual uma grande área é mapeada para inspeção preliminar.

Palavras chaves: AUV. Veículo. Autônomo. Subaquático. Mapeamento. Inspeção. SAS. GIS.

ABSTRACT

AUV for inspection and mapping of underwater pipelines and equipment

This paper has a focus on presenting one of the most modern technologies applied to mapping and inspection of submarine pipelines and equipments, the AUVs (Autonomous Underwater Vehicles). During this work, it is shown the development of the technology throughout history, as well as the comparison between the AUV mapping method and the ROV mapping method and the explanation of the mapping method. In the final part of the paper is presented and discussed a hypothetical case study where a large area is mapped for preliminary inspection of underwater equipment.

Key-words: AUV. Vehicle. Autonomous. Underwater. Mapping. Inspection. SAS. GIS.

Sumário

Lista de figuras	6
Lista de tabelas	8
1. Introdução	9
2. Objetivo	11
3. História	12
4. Uso do AUV	15
4.1 ROV x AUV: mapeamento	16
5. O Equipamento	18
5.1 Navegação	19
5.2 Propulsão	21
5.3 Comunicação	21
5.4 Fontes de Energia	22
5.5 Principais Sensores	23
5.5.1 Sonar de Abertura Sintética - HISAS 1030	23
5.5.2 Ecobatímetro Multifeixe - EM 2040	27
5.5.3 Perfilador de Sub-fundo	29
5.5.4 Fotos georreferenciadas	29
5.6 Equipamentos no mercado atual	32
6. Mapeamento submarino	34
6.1 Redundância de informações	35
6.2 Processamento dos Dados	37
6.3 Ambiente GIS	37
7. Estudo de Caso	39
7.1 Relatório de inspeção	45
7.2 Dificuldades encontradas	45
8. Conclusão	48
9. Referências bibliográficas	49

Lista de figuras

Figura 1: Exemplo de AUV.....	9
Figura 2: Sistema de levantamento de dados com AUV.	10
Figura 3: Whitehead Automobile “Fish” Torpedo, desenvolvido por Robert Whitehead.	12
Figura 4: L'Epaulard AUV.....	13
Figura 5: AUV Theseus.	13
Figura 6: Hugin 3000, AUV fabricado pela Kongsberg.....	14
Figura 7: Representação de operação com AUV.....	15
Figura 8: ROV em operação.	17
Figura 9: Representação do sistema USBL.	20
Figura 10: Thruster, sistema de propulsão utilizado nos AUVs, sub-Atlantic.	21
Figura 11: Sistema de propulsão do AUV.....	21
Figura 12: Bateria ALHP FC utilizada no HUGIN 3000, Kongsberg.....	23
Figura 13: Utilização do sistema de levantamento com sonar de abertura lateral.....	24
Figura 14: Varreduras de sonares interferométricos.....	24
Figura 15: Representação da comparação de um mesmo evento no leito marinho com: a) sonar de abertura lateral; b) sonar de abertura sintética.	25
Figura 16: Embarcação naufragada visível por imagem de SAS.	25
Figura 17: Imagem HISAS de sucata encontrada no fundo do mar. Comprimento: 5,5 metros.	26
Figura 18: Imagem HISAS de aeronave encontrada no leito marinho. Comprimento: 12 metros.	26
Figura 19: Sistema de aquisição de batimetria.	27
Figura 20: Batimetria que mostra cabo de fibra ótica passando sobre coral.	28
Figura 21: Batimetria do duto.....	28
Figura 22: Batimetria de relevo do leito marinho.....	29
Figura 23: Perfilador de subfundo (SBP).	29
Figura 24: Sucata pontual perto de um duto, resolução da imagem 2x2 mm.....	30
Figura 25: Árvore de natal molhada, resolução da imagem 2x2 mm.....	30
Figura 26: Caixa de junção, resolução da imagem 2x2 mm.....	31
Figura 27: Duto com dano no revestimento externo, resolução da imagem 2x2 mm.	31

Figura 28: AUV HUGIN 300, desenvolvido pela Kongsberg Maritime e Norwegian Defence Research Establishment.	32
Figura 29: AUV A18-D, ECA Group.....	32
Figura 30: AUV Bluefin-21, fabricado pela Bluefin.	33
Figura 31: SeaRobotics AUV, Marlin Mk3.....	33
Figura 32: Sucata próxima ao duto mostrada por imagem HISAS.....	36
Figura 33: Sucata próxima ao duto mostrada por foto da alta resolução.....	36
Figura 34: Sucata próxima ao duto mostrada pela batimetria.	37
Figura 35: Ambiente GIS representando tabela de atributos de mapeamento.....	38
Figura 36: Grids da área a ser estudada.	40
Figura 37: Imagem de SAS de alta qualidade, exemplificando a visualização dos dutos da área hipotética a ser estudada.....	41
Figura 38: Imagem meramente ilustrativa de SAS exibindo o cruzamento de dutos...41	41
Figura 39: Exemplo de digitalização das linhas e tabela de atributos.	42
Figura 40: Área hipotética após digitalização dos dutos.	42
Figura 41: Exemplo de cadastro dos cruzamentos entre dutos.....	43
Figura 42: Representação de um cruzamento entre dutos no ambiente GIS com footprint.	43
Figura 43: Área hipotética após cadastro dos cruzamentos entre dutos.	44
Figura 44: Área hipotética após cadastro de todos os eventos.	44
Figura 45: Footprint de fotos de uma área hipotética.	46

Lista de tabelas

Tabela 1: Relação entre ROV e AUV para mapeamento.....	18
Tabela 2: Volume de dados da área em questão.....	40
Tabela 3: Quantidade de dados adquiridos em levantamento por AUV.....	46
Tabela 4: Processos manuais x automatizados.....	46

1. Introdução

Impulsionado pelo grande crescimento de pesquisas e trabalhos submarinos, majoritariamente no campo de exploração de óleo e gás, militar e acadêmico, os veículos submarinos sofreram grandes avanços nos últimos anos. Robôs submarinos, como AUVs (*autonomous underwater vehicle* ou, pela tradução, veículos autônomos subaquáticos) têm sido desenvolvidos com a finalidade de aprimorar, diminuir os custos e ter uma melhor qualidade dos dados obtidos em operações submarinas. São dispositivos robóticos autônomos, guiados pelo seu computador de bordo, pré-programados para terem o mínimo de intervenção humana e movidos pela água por um sistema de propulsão que pode ser manobrado em três dimensões (Ewart, T. E., 1976). Tal controle permite aos veículos permanecerem em uma trajetória pré-programada, fazendo com que seja possível coletar dados espaciais em um espaço de tempo pelos sensores acoplados. São utilizados em diversos campos, tais como operações militares, pesquisas oceanográficas e operações comerciais.

Figura 1: Exemplo de AUV.

Os AUVs fazem parte de um grande grupo de sistemas submarinos conhecidos como *unmanned underwater vehicle* ("veículo não tripulado subaquático"), uma classificação que também inclui submarinos não autônomos e ROVs (*Remotely Operated Underwater Vehicles*, ou Veículos Subaquáticos Controlados Remotamente), alimentados e operados a partir da superfície por um operador através de um cordão umbilical e de um controle remoto.

Nos últimos anos, veículos autônomos vêm se tornando a nova tendência em um campo cujo domínio era de ROVs. Apesar dos AUVs necessitarem de uma embarcação de apoio, tal veículo não sofre interação humana durante a operação de aquisição dos dados e, com isso, o

campo de exploração é amplamente expandido para operações em ambientes inóspitos. Com os sensores acoplados no veículo, os dados adquiridos na aquisição do levantamento com AUV são referenciados no espaço e no tempo e são utilizados para mapeamentos e inspeções de equipamentos e dutos submarinos, com a finalidade de futuros descomissionamentos de áreas de exploração de petróleo, manutenção e detecção de minas submarinas, inspeção preliminar de equipamentos, entre outros, em profundidades na quais a operação poderia ser muito arriscada ou até inexecutável com veículos operados remotamente ou tripulados.

Centenas de AUVs vêm sendo construídos desde os anos 70 até os dias de hoje, desde os pequenos – utilizados principalmente para aquisição de dados para pesquisas oceanográficas – até AUVs que chegam a 12 metros de comprimento, capazes de enfrentar profundidades de cerca de 6 mil metros.

Os AUVs navegam utilizando sistemas tais como LBL (*Long Baseline Navigation System*), USBL (*Ultra-short Baseline Navigation System*) ou SBL (*Short Baseline Navigation System*), que são sistemas acústicos de posicionamento subaquático. Podem ser adaptados nos AUVs diversos tipos de sensores de acordo com a finalidade dos dados.

Figura 2: Sistema de levantamento de dados com AUV.

O desenvolvimento de novas tecnologias faz com que o uso dos AUVs venha a ser cada vez mais abrangente. Alguns exemplos são processadores mais avançados, baterias mais potentes de longa duração, estações subaquáticas para carregamento de bateria e transmissão dos dados, entre outros.

Tal tecnologia é cada vez mais utilizada na indústria de óleo e gás para confecção de mapeamento do fundo submarino, aspectos geológicos do leito marinho, equipamentos e aspectos naturais para a construção, inspeção ou um possível descomissionamento de áreas mapeadas, tendo menores custos e tempo de operação quando comparada a operações realizadas com ROVs.

2. Objetivo

O objetivo principal desse trabalho é descrever o método de mapeamento submarino para inspeção preliminar de equipamentos e dutos utilizando os AUVs, por meio de uma visão geral da história do veículo e seu funcionamento. Com essa finalidade, serão detalhados os principais componentes mecânicos dos AUVs, assim como seu método de aquisição de dados, de navegação, comunicação e os sensores mais utilizados em operações que possuem a finalidade de mapeamento. Para isso, a metodologia do mapeamento é descrita no desenvolvimento do trabalho, assim como um estudo de caso hipotético, com o intuito de descrever e debater a nova aplicação dos AUVs para mapeamento submarino.

3. História

A origem dos AUV pode ser ligada ao *Whitehead Automobile “Fish” Torpedo*. Robert Whitehead é reconhecido pela criação, construção e demonstração do primeiro torpedo da história, em 1866, na Áustria. Apesar de classificado como torpedo por carregar cargas explosivas, o veículo era movido por ar comprimido, atingia uma velocidade de 3 m/s percorrendo 700 metros, características similares aos veículos autônomos (von Alt, C. J., 2003).

Figura 3: *Whitehead Automobile “Fish” Torpedo*, desenvolvido por Robert Whitehead.

Depois disso, um dos primeiros AUVs a serem desenvolvidos foi chamado de *The Self Propelled Underwater Research Vehicle* (SPURV), um projeto do Laboratório de Física Aplicada, da Universidade de Washington, em 1957, por Stan Murphy, Bob Francois e Terry Ewart, desenvolvido devido a necessidade de obter dados oceanográficos embaixo de blocos de gelos de regiões árticas, com o objetivo principal de estudar a difusão e transmissão acústica nesse meio. A primeira geração do SPURV operava numa velocidade de até 2,2 m/s, por 5,5 horas em profundidades de até 5 km. Depois disso, a tecnologia foi aprimorada e bastante utilizada nos estudos da dispersão e rastros submarinos nas décadas de 70 e 80 (Ewart, T. E., 1976).

O primeiro AUV desenvolvido especificamente para pesquisas geofísicas foi o *L'Epaulard AUV*, construído pelo IFREMER e usado nos anos 80 para operações de mapeamento (Wynn, R. et al., 2014). Foi o primeiro AUV acusticamente controlado, capaz de realizar levantamentos batimétricos e fotografar em águas profundas, mantendo altitude constante e chegou a profundidades de até 6 km. Esteve em operação entre 1970 e 1990 (Michael, J. L. et al., 1981).

Figura 4: L'Epaulard AUV.

No início da década de 90, a *International Submarine Engineering Research* em conjunto com o *Esquimalt Defence Research Detachment of Defence Research Establishment Atlantic* desenvolveram o Theseus, veículo não tripulado para o sistema de defesa dos Estados Unidos e Canadá, com a intenção de fazer o lançamento de 190 km de cabos de fibra óptica em regiões cobertas por gelo a 200 km da costa. Foi desenvolvido para navegar em profundidades de 50 a 600 metros. A operação foi realizada com sucesso e o AUV Theseus desenvolvido percorreu uma distância de 365 km durante as 50 horas de operação, apresentando bons resultados (Butler, B., Black, M., 1997).

Figura 5: AUV Theseus.

Depois disso, mais de 56 diferentes tipos de AUV foram desenvolvidos e publicados em literatura, porém nem todos foram utilizados em campo (Wynn, R. et al., 2014).

A WHOI, *Woods Hole Oceanographic Institution*, desenvolveu, no final da década de 90, o AUV REMUS com o intuito de dar suporte científico ao observatório LEO15 em Tuckerton, New Jersey. Com financiamento da *National Science Foundation* (NSF) e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), O REMUS completou sua primeira missão científica em 1997. Atualmente, é estimada a existência de mais de 50 REMUS em diversas configurações diferentes, sendo operados independentemente para pesquisas em laboratórios universitários e operações militares. A mais longa missão de operação do REMUS consta 17 horas de duração, cujo veículo navegou com a velocidade de 1,75 m/s por 60 quilômetros, numa profundidade média de 20 metros (von Alt, C. J. et al., 1994).

Com o passar dos anos, o primeiro projeto de AUV comercial, Hugin 3000, foi fabricado pela empresa Kongsberg Maritime. O AUV em questão tem capacidade de navegar em águas profundas de até 3 km, pesa 1400 kg e navega a velocidades de 2 m/s, além de possuir uma capacidade de até 40 horas de navegação abastecidas por células combustíveis de alumínio-oxigênio. A empresa C&C Technologies completou mais de 17702 km de mapeamento geofísico, alguns à 3 km de profundidade, utilizando o AUV Hugin a partir de 2000.

Figura 6: Hugin 3000, AUV fabricado pela Kongsberg.

A partir de 2010, a utilização da tecnologia AUV é óbvia para as mais diversificadas finalidades, sendo cada vez mais viável a utilização do veículo em operações comerciais, além do meio acadêmico. A viabilidade econômica da tecnologia ainda vem sendo comprovada e, com isso, os AUVs continuam seu desenvolvimento tecnológico para que a indústria abrace seu potencial (Breivik, 2009).

4. Uso do AUV

AUVs são utilizados desde a década de 70 com o principal objetivo de coletar dados para pesquisas submarinas em áreas de difícil acesso ou condições extremas.

Nos dias de hoje, os AUVs são usados, em sua maioria, como um equipamento de *survey* para as plataformas de exploração de petróleo, nas quais são acoplados sensores específicos e trajetórias pré-programadas para aquisição de dados para diferentes aplicações. Sua habilidade de operar de maneira autônoma de uma embarcação faz com que o veículo seja o ideal para explorações em ambientes extremos, locais bastante profundos até mares polares.

São equipamentos que não necessitam de interação humana durante a operação, possuem navegação com propulsores e operam independentes da embarcação de apoio por diversas horas. Possuem uma geometria que os permite navegar com o mínimo de energia possível e possuem métodos de segurança para evitar colisões com outros objetos e seguir uma trajetória programada.

Figura 7: Representação de operação com AUV.

Uma das maiores vantagens da operação com AUV na área de mapeamento submarino é que a maioria dos veículos opera tipicamente na faixa de 8 a 50 horas sem interação humana, com velocidades de 0,5 a 2,5 m/s, fazendo com que a embarcação de apoio tenha a opção de realizar outra tarefa durante a aquisição e reduzindo assim o custo de operação, fazendo com que seja uma escolha melhor do que o método de mapeamento com ROVs (Ewart, T. E., 1976).

Apesar da eficiência de operação com veículos autônomos, alguns fatores devem ser levados em consideração no planejamento de uma operação de aquisição de dados com AUV,

tais como a velocidade do veículo, a influência das marés e das correntes em sua trajetória e a distância necessária do fundo e da embarcação de apoio.

Tanto o ambiente e a complexidade da operação são fatores que impõe severas restrições no design do veículo. Muitas operações acontecem em regiões polares – onde a superfície do mar é coberta de gelo – ou regiões muito profundas, onde a temperatura e pressão devem ser consideradas (Butler, B., Black, M., 1997).

A utilização do AUV está cada vez mais presente nas operações de mapeamento e é usado com o intuito de aprimorar a produtividade do processo em geral e a qualidade dos dados adquiridos. Uma embarcação de apoio equipada tanto com AUV e como com ROV pode utilizar o AUV para levantamento da área enquanto o ROV é utilizado para detalhamento pontual e inspeção das anomalias detectadas no mapeamento preliminar (Sæbø, T. O. et al., 2010).

4.1 ROV x AUV: mapeamento

ROVs são veículos subaquáticos controlados remotamente (do *inglês Remotely Operated Underwater Vehicles*) que, por sua vez, são controlados e alimentados a partir da superfície através de um cabo chamado cordão umbilical ou por meio de controles remotos. Apesar de possuírem a possibilidade de transmitir os dados em tempo real, ROVs têm uma operação mais limitada em comparação com os AUVs, uma vez que possuem uma menor velocidade, mobilidade e alcance espacial.

A origem dos ROVs é incerta pela literatura, porém podiam ser vistos em operação desde 1950. A crescente confiabilidade dos ROVs tornou-os aceitos pela indústria *offshore*, que por sua vez gerou um crescente avanço no desenvolvimento de novos veículos. Entre 1982 e 1989, houve um rápido crescimento na indústria de ROVs, tornando-a mais madura e diversificada, cobrindo desde pequenos ROVs para uso pessoal e científico até grandes veículos para a indústria *offshore* (Dukan, F., 2014).

Figura 8: ROV em operação.

ROVs são amplamente utilizados em operações nas quais são necessárias interações com os equipamentos, um dado mais detalhado como filmagem pontual ou remoção e lançamento de equipamentos. Para tal, possuem braços robóticos e outras ferramentas que possibilitam essa interação. É possível adaptar diversos sensores e equipamentos no veículo, como sonar, câmera, magnetômetros, instrumentos para medir salinidade, temperatura, entre outros. No entanto, por serem remotamente operados, possuem pouca autonomia e eficiência hidrodinâmica (Shahzer, M. A., et al., 2014).

Antigamente, explorações de águas profundas eram realizadas com veículos não tripulados e ROVs. Enquanto o uso de veículos operados remotamente começou a ser mais difundido e as tarefas a serem realizadas tiveram maior complexidade em águas profundas e águas ultra profundas, a necessidade da utilização de veículos autônomos aumentou. A partir do desenvolvimento desses veículos, os AUVs começaram a dominar o campo de mapeamento e pesquisa. Veículos autônomos complementam a capacidade dos sistemas utilizados oferecendo maior capacidade para mapeamento, com menos tempo de operação, dados mais precisos e possibilitando melhor utilização da embarcação de apoio durante a operação (Shahzer, M. A., et al., 2014).

Comparativamente com o método de mapeamento por ROV, o levantamento, mapeamento e inspeção preliminar com AUV apresenta menores custos, tempo de operação diminuído e ampla qualidade e acurácia de dados, tendo em vista que o levantamento é feito por áreas maiores a uma maior velocidade e grande cobertura do local do que aquele feito com ROV.

Tabela 1: Relação entre ROV e AUV para mapeamento.

ROV	AUV
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade média: 0,5 kn • Método de levantamento: por linha • Dados coletados: posição das linhas e vídeos • Método de mapeamento: apenas eventos e feições sobre o duto 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade média: 3,5 kn • Método de levantamento: por área • Dados coletados: batimetria, fotografias georreferenciadas, imagens HISAS, perfilador de sub-fundo • Método de mapeamento: todos eventos e feições a 20 metros do duto

Além disso, a inspeção com AUV gera um produto de maior qualidade comparado com aquela feita com ROV, tendo em vista a estabilidade do veículo durante a aquisição, evitando possíveis deslocamentos dos dados adquiridos. A velocidade de navegação do AUV é de 5 a 15 vezes maior do que a do ROV. Os principais aspectos positivos dos AUVs são a velocidade e o levantamento automatizado, permitindo uma avaliação mais precisa da área em geral e com mais informações sobre o estado de integridade dos dutos e equipamentos. Por outro lado, a inspeção com ROV é mais lenta, feita manualmente e as decisões são tomadas pelo operador. O grande desafio é construir algoritmos mais complexos que tornem a inspeção por AUV cada vez mais viável e confiável, para enfrentar a atividade já consagrada e amplamente difundida com ROVs.

5. O Equipamento

Os AUVs têm a capacidade de navegar em águas profundas com trajetórias pré-programadas, com um grande nível de autonomia e precisão de navegação, sob as mais diversas condições ambientais.

Com a intenção de obter um AUV com as capacidades de um ROV, foi necessário desenvolver um método de propulsão capaz de navegar a baixas velocidades e sensores que funcionam com eficiência em ambientes extremos. Para maior eficiência, os sensores e sistemas de atuação têm a necessidade de ter uma boa integração com as manobras que o equipamento pode realizar. O formato em torpedo do veículo permite melhor navegação e estabilidade. Os AUVs também utilizam sonares acústicos para analisar os arredores. A combinação do design mecânico do veículo e dos sensores de longo alcance fazem dos AUVs veículos muito eficientes e eficazes.

Sensores de sonar não são muito eficazes quando posicionados muito próximos do objeto de inspeção, por isso não são a melhor escolha quando se trata de ambientes muito pequenos, como interiores de embarcações naufragadas.

A programação do AUV é feita para o veículo navegar passivamente em uma profundidade específica ou determinada pressão, ou para nadar vagarosamente perto de um local desejado e fazer o levantamento dos dados com os sensores acoplados. Os AUVs também podem ser programados para navegar a uma pressão ou altitude constante ou para variar a sua profundidade ou direção à medida que se deslocam através da água, de modo que podem ser formados padrões de observação do mar que abrangem alturas diferentes e/ou grandes distâncias horizontais. Eles também oferecem um meio altamente produtivo de realizar levantamentos do fundo do mar usando sistemas de imagem acústica ou óptica. A resistência de bateria do AUV é tipicamente da ordem de 8 a 50 horas. AUVs são programados na superfície e então navegam através da água para coletar os dados. Para que os dados recolhidos por um AUV sejam de boa qualidade, a localização referente a eles deve ser conhecida com exatidão.

5.1 Navegação

A navegação é um dos principais limitadores da capacidade dos AUVs tendo em vista que o aspecto fundamental de um dado de qualidade resultante do levantamento com AUV é a precisão do mesmo, com o mínimo de ruído e posicionamento referenciado sem deslocamento. A necessidade de maior precisão levou ao desenvolvimento de sistemas de *transponders* acústicos, que aumentavam os custos operacionais (Blidberg, R.).

Os AUVs navegam utilizando sistemas tais como LBL (*Long Baseline Navigation System*), USBL (*Ultra-short Baseline Navigation System*) ou SBL (*Short Baseline Navigation System*), que são sistemas acústicos de posicionamento subaquático. Quando o ponto de referência para a comunicação é uma rede de *transponders* no fundo do mar, o sistema é chamado de LBL. Quando o ponto de referência está na superfície, como em um navio para apoio, o sistema é chamado de USBL ou de SBL, que utiliza o sistema de posicionamento do navio, como o GPS, para calcular a coordenada do AUV.

Figura 9: Representação do sistema USBL.

Como o sistema de posicionamento é um fator muito importante para a qualidade e a acurácia das imagens obtidas, diversos sistemas de navegação são utilizados para redundância de dados, com a finalidade de obter um dado com alta precisão.

Um dos sistemas de posicionamento mais utilizados pelos AUVs é um sistema de navegação inercial em conjunto com medições de efeito Doppler, que utiliza emissão de ondas acústicas para produzir dados de velocidade de objetos que se encontram a certa distância, emitindo um sinal de microonda e analisando como o movimento do objeto alterou a frequência do sinal retornado. Essa variação apresenta medições diretas e altamente precisas da componente radial da velocidade de um alvo em relação ao radar. Os radares Doppler são utilizados na aviação, nos satélites de sonorização, na meteorologia, nas pistolas de radar, na radiologia, entre outros. O sistema de navegação inercial é capaz de medir a velocidade de deslocamento do veículo (Leonard, J. J., et al., 1998).

A navegação inercial pré-programada apresenta um erro de baixa frequência que cresce com o tempo, diante disso é preciso auxiliar os sensores para manter os erros os mais baixos possível. Os sensores auxiliares têm pequenos componentes de erro de baixa frequência para que possam verificar a diferença de navegação e posicionamento de longo prazo da navegação inercial. Nos veículos HUGIN (Kongsberg) e na embarcação de apoio, os sensores auxiliares são DGPS-HiPAP (GPS diferencial – Posicionamento acústico de alta precisão), registro de velocidade Doppler (DVL), sensor de pressão (para a profundidade) e Gyrocompass. Além disso, as medições de rolo e de passo de uma MRU (*Motion Reference Unit*) são usadas para inicializar a navegação inercial. O DVL, Gyrocompass e MRU também podem ser utilizados como um sistema de back-up de navegação estimada (Mandt, 2001).

5.2 Propulsão

O principal sistema de propulsão utilizado nos AUVs é o *thruster*, sistema baseado em hélices, alimentados por motores elétricos. Por serem utilizados em ambientes marinhos subaquáticos de alta pressão, muitas vezes apresentam revestimentos selantes para proteger seus componentes internos de corrosão (Vijay, S.).

Figura 10: Thruster, sistema de propulsão utilizado nos AUVs, sub-Atlantic.

Figura 11: Sistema de propulsão do AUV.

5.3 Comunicação

A comunicação com os AUVs é algo que representa um desafio enorme, já que a transmissão de ondas de rádio em um ambiente marinho não acontece de maneira efetiva. O principal problema enfrentado atualmente para a transmissão de dados através da água envolve o método cujos transdutores são responsáveis pela conversão de energia elétrica em ondas sonoras. A rápida atenuação das ondas eletromagnéticas embaixo da água faz com que

transmissão acústica seja a melhor escolha para navegação e transmissão de dados submarinos. A melhor maneira de se investigar a geologia do fundo marinho é por meio da utilização de métodos geofísicos acústicos (sensoriamento remoto acústico). Como o oceano rapidamente enfraquece a energia acústica de acordo com o aumento da frequência, a ocorrência de frequências mais baixas é necessária para comunicações de longa distância. Entretanto, 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, fazendo o sistema ter um custo elevado. A velocidade e a direção dos sinais sonoros variam de acordo com a temperatura, a maré, as ondas de superfície e as correntes marinhas.

Os sistemas de comunicações acústicos, de frequência por ondas de rádio e de satélite oferecem a capacidade de monitorar e redirecionar as missões AUV em todo o mundo a partir de um navio ou de uma base *onshore*. Por esta razão, as operações autônomas por AUV oferecem vantagens distintas em relação às operações realizadas por ROV. (Ewart, T. E., 1976).

5.4 Fontes de Energia

A duração das operações de levantamentos de dados com os AUVs tem crescido consideravelmente, de poucas horas para algumas dezenas de horas, chegando a 50 horas de duração. Atualmente alguns sistemas são capazes de realizar missões que levam dias e existem alguns poucos capazes de trabalhar por anos sem interrupção. Essa longa duração dos levantamentos oferece limitações na capacidade dos sensores e na velocidade de trânsito (Blidberg, R.).

Nos dias de hoje, a maior parte dos AUVs em uso são alimentados por baterias recarregáveis acoplados a sistemas de gerenciamento de energia. Alguns veículos utilizam baterias primárias, que podem oferecer 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.

A baterias Ni-MH são um desenvolvimento das baterias de níquel cádmio (Ni-Cad). Elas também utilizam o níquel como matéria prima básica, porém o cádmio é substituído por uma liga de metais não tóxicos. Tal substituição oferece uma densidade energética 40% superior comparado com as de níquel cádmio.

A bateria de polímero de íon de lítio é recarregável e altamente tolerante à pressão. A bateria é construída por pilhas comerciais de células em blocos, montados para serem adaptados aos AUVs. Sistemas de segurança foram implementados, de forma a evitar quaisquer perigos relacionados à sobrecarga, descarga e seu uso em geral. A bateria ALHP FC é uma fonte de energia única que produz energia elétrica a partir de alumínio e oxigênio. O ALHP FC é desenvolvido pela FFI (Instituto Norueguês de Pesquisa de Defesa) e Kongsberg Maritime e está disponível apenas para os HUGIN AUVs.

Figura 12: Bateria ALHP FC utilizada no HUGIN 3000, Kongsberg.

5.5 Principais Sensores

Os AUVs, em sua maioria, são fabricados com a possibilidade de acoplar diferentes sensores com as mais diversas funções para levantamento dos dados para o produto desejado.

5.5.1 Sonar de Abertura Sintética - HISAS 1030

O Sonar de Abertura Sintética (SAS) é uma técnica revolucionária de mapeamento, desenvolvida pela companhia Kongsberg Maritime AS e o Norwegian Defence Research Establishment (FEI) que apresenta um novo conceito para mapeamento e inspeção de dutos por AUV. O SAS veio para substituir o sonar de abertura lateral – *side scan sonar*. O *side scan sonar* ilumina o fundo marinho através de ondas sonoras, utilizando pulsos para gerar imagens 2D do solo e de qualquer objeto que se encontre sobre o leito marinho, amplamente utilizado para levantamento de dados para análises geológicas.

Figura 13: Utilização do sistema de levantamento com sonar de abertura lateral.

O HISAS 1030 é um sistema de sonar de abertura sintética interferométrico capaz de fornecer imagens sonográficas de alta resolução e batimetria detalhada do fundo do mar. Com avanços na compensação de movimento e foco automático, hardware de processamento de sinal, sistemas de navegação preciso e acessível para o mercado, sistemas de abertura sintética estão sendo usados em operações comerciais e militares. O HISAS fornece imagens e batimetria em um alto grau de resolução espacial, utilizando a técnica de imagem acústica que combina com os retornos de pings múltiplos, para sintetizar uma grande abertura acústica. O HISAS vem sendo cada vez mais desenvolvido e utilizado em operações com AUVs que buscam uma qualidade de imagem com alta resolução (Sternlicht, 2004).

Figura 14: Varreduras de sonares interferométricos.

Figura 15: Representação da comparação de um mesmo evento no leito marinho com: a) sonar de abertura lateral; b) sonar de abertura sintética.

O SAS, ou HISAS, opera utilizando ondas sonoras. 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. Comumente utilizam frequências entre 500 kHz e 2000 kHz e, quanto maior a frequência utilizada, mais precisa será a imagem obtida, porém menor será a área estudada (Rosa, E. D. L., 2007).

Os sensores de abertura sintética combinam vários pings para gerar uma imagem. As imagens apresentam maior resolução e alinha centro de fases através de sensores INS e MRU.

Figura 16: Embarcação naufragada visível por imagem de SAS.

Figura 17: Imagem HISAS de sucata encontrada no fundo do mar. Comprimento: 5,5 metros.

Figura 18: Imagem HISAS de aeronave encontrada no leito marinho. Comprimento: 12 metros.

Essa ferramenta é bastante utilizada com uma grande variedade de propósitos, entre eles estão a detecção e identificação de objetos no fundo dos mares, levantamentos batimétricos e a criação de cartas náuticas. Esses dados são usualmente utilizados para a instalação de estruturas submarinas no ramo de petróleo e gás, além de acompanhamento constante da integridade de

dutos, cabos e equipamentos instalados no fundo do mar. Operações de dragagem, pesca, estudos ambientais e militares são algumas outras utilidades tanto do sonar de abertura lateral quanto do sonar de abertura sintética (Newton, R. S., Stefanon, A.).

A resolução da imagem encontra-se na faixa de 10 a 20 cm, podendo identificar eventos e feições pequenos no fundo marinho, como danos e falhas em equipamentos.

5.5.2 Ecobatímetro Multifeixe - EM 2040

O ecobatímetro multifeixe (MBES ou *multibeam echosounders*) é o método mais utilizado atualmente para determinar a batimetria de grandes áreas e podem mapear várias posições do fundo marinho com um arranjo de transdutores dispostos lateralmente que emitem um único feixe demonstrando boa acurácia. São instrumentos padrão em pesquisas hidrográficas e 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 19: Sistema de aquisição de batimetria.

As principais finalidades deste método são determinar a espessura da lâmina d'água (profundidade), mapear a morfologia e gradiente do fundo marinho e determinar alvos que representem riscos a navegação. A principal vantagem é o recobrimento total do fundo do mar possibilitando melhor avaliação dos obstáculos do fundo marinho.

O sistema apresenta cobertura de 120 graus e largura do feixe $0.7 \times 0.7^\circ$, cobertura de 140 graus e largura do feixe $1 \times 1^\circ$, intervalo de sondagem de 5×5 cm até aproximadamente 6 metros de altitude, navegando a 4 nós. São necessárias correções nos dados referentes a atitude e movimentos do veículo (*pitch*, *roll*, *yaw* e *heading*).

Figura 20: Batimetria que mostra cabo de fibra ótica passando sobre coral.

Figura 21: Batimetria do duto.

Figura 22: Batimetria de relevo do leito marinho.

5.5.3 Perfilador de Sub-fundo

A finalidade do perfilador de sub-fundo, ou SBP (*sub botton profile*) é mapear a disposição estrutural das camadas geológicas em sub-superfície. Com os dados adquiridos com o SBP para mapeamento, é possível analisar equipamentos soterrados ou falhas geológicas que impossibilitariam a instalação de novos equipamentos ou a integridade de equipamentos já instalados.

Figura 23: Perfilador de subfundo (SBP).

5.5.4 Fotos georreferenciadas

As figuras 23-26 abaixo são exemplos de fotos de alta resolução levantadas por AUV, usadas para identificar pequenos danos em equipamentos ou eventos no leito marinho. Os eventos podem ser georreferenciados e facilmente identificado pelas suas coordenadas para uma posterior inspeção com intervenção utilizando ROV.

Figura 24: Sucata pontual perto de um duto, resolução da imagem 2x2 mm.

Figura 25: Árvore de natal molhada, resolução da imagem 2x2 mm.

Figura 26: Caixa de junção, resolução da imagem 2x2 mm.

Figura 27: Duto com dano no revestimento externo, resolução da imagem 2x2 mm.

A câmera é capaz de relacionar as fotos com a posição e o tempo de onde foram capturadas, além de armazenar tais informações em um disco rígido a bordo do AUV. Tais fotos, após processamento, geram um mosaico referente ao caminho do AUV, permitindo detalhamento da integridade dos dutos.

5.6 Equipamentos no mercado atual

Desenvolvido em uma parceria entre a *Kongsberg Maritime* e o *Norwegian Defence Research Establishment*, a série HUGIN apresenta a série de AUV mais bem-sucedida comercialmente no mercado mundial hoje (Hagen et al., 2003). Os veículos HUGIN têm sido empregados para aplicações comerciais desde 1997 e para aplicações militares desde 2001. O AUV HUGIN 3000 possui uma capacidade de 60 horas de resistência a 4 nós de velocidade com os mais diversos sensores acoplados e com capacidade de chegar a profundidades de até 3000 metros. Atualmente, os principais desafios para os AUVs abrangem questões de resistência, navegação, comunicação e autonomia.

Figura 28: AUV HUGIN 300, desenvolvido pela Kongsberg Maritime e Norwegian Defence Research Establishment.

A18-D é o grupo de AUVs de médio porte da empresa ECA Group, para aplicações de águas profundas. É dedicado ao levantamento 3D preciso do fundo do mar e realiza operações autônomas até 3000 metros de profundidade com 21 horas de resistência de bateria. Possui um diâmetro de 50 centímetros e velocidade média de 1,6 m/s, podendo chegar a velocidade máxima de 3 m/s.

Figura 29: AUV A18-D, ECA Group.

A empresa Bluefin Robotics oferece inúmeros projetos de AUV e baterias que podem ser facilmente personalizadas para a missão específica e requisitos do programa por meio da

combinação de elementos modulares. O Bluefin-21 é um veículo subaquático autônomo altamente modular, capaz de transportar vários sensores e carga. Possui uma elevada capacidade de energia que permite operações de em média 25 horas de duração, a 4.500 metros de profundidade.

Figura 30: AUV Bluefin-21, fabricado pela Bluefin.

A SeaRobotics Corporation desenvolveu o AUV Marlin Mk3 para operações de levantamento e inspeção em profundidades de até 4.000 metros.

Figura 31: SeaRobotics AUV, Marlin Mk3.

6. Mapeamento submarino

Para preservar os equipamentos submarinos e evitar acidentes ambientais, é de extrema importância que haja regular inspeção. A inspeção é feita periodicamente e pode ser repetida em diferentes momentos de acordo com fatores ambientais, o tipo de equipamento e material, assim como as condições geológicas do local de instalação. Mapeamento da área de instalação de equipamentos submarinos é um dado essencial para a execução da inspeção.

AUVs são equipamentos cada vez mais utilizados para mapeamento e inspeção preliminar de dutos e equipamentos submarinos nos campos de exploração de óleo e gás para possível identificação do nível de integridade. A intenção da inclusão do método de mapeamento com AUV é a diminuição do custo e o aumento da produtividade relativos à operação.

Durante a inspeção e mapeamento de equipamentos submarinos, é possível identificar a integridade dos dutos, assim como as condições ambientais e do ambiente ao redor do equipamento, assim como: seções enterradas ou parcialmente, vãos livres, cruzamentos de tubulações, flambagem, destroços, danos, entre outros.

Conforme a lista de sensores mais usados descritos acima, o AUV ideal para mapeamento contém SAS (Sonar de Abertura Sintética), *ecosounder Multibeam*, *Doppler Velocity Long* (DVL), Sistema Diferencial de Navegação Global por Satélite (DGNSS), Sistema de navegação Inercial (INS), câmera de alta resolução e sensor de turbidez.

A operação de inspeção e mapeamento pode ser dividida em três seções. O primeiro passo é o levantamento dos dados para identificação e localização dos equipamentos de acordo com o banco de dados da empresa responsável pelo lançamento das linhas. Depois disso, é feito um levantamento com AUV da área onde os equipamentos estão localizados. A terceira etapa do processo consiste em um levantamento de alta precisão com câmeras de alta resolução, sensores de *multibeam* e sonar de abertura sintética e/ou sonar de abertura lateral. Os resultados desse processo apresentam dados referenciados geograficamente com bastante precisão e imagens de alta resolução.

Com o AUV navegando a uma certa altitude do leito marinho (proporção de 1:10 entre a altitude e a distância da embarcação) são coletados os dados preliminares para o mapeamento constando o posicionamento dos equipamentos e inspeção de danos maiores. O sensor HISAS 1030 é o responsável por coletar os dados de entrada do mapeamento preliminar, assim como a batimetria do fundo pelo ecobatímetro multifeixe EM 2040.

Com as coordenadas dos equipamentos mapeadas, uma nova rota é pré-programada no AUV, para que o veículo siga paralelamente os dutos e equipamentos submarinos a uma distância horizontal de 30 a 40 metros. Esse levantamento pode identificar as seguintes situações: naufrágios, danos, dutos enterrados ou parcialmente enterrados, vãos livres, sedimentos de carbonatos, cruzamentos de dutos e flambagem.

Outras situações possivelmente analisadas com o mapeamento com AUV são:

- Confirmação da posição do duto.
- Identificação de movimento significativo.
- Identificação e dimensionamento de vãos livres.
- Identificação de possível vazamento.
- Cruzamentos entre dutos.
- Formação de corais (solo abrasivo) nas imediações do duto.
- Presença, ausência e/ou estado de: calçamentos, sucatas, obstáculos, anodos, corrosão, danos, mantas, conectores.

Os AUVs fornecem uma maneira rápida de realizar o levantamento de áreas para mapeamento e inspeção de equipamentos submarinos. É capaz de navegar acompanhando dutos sem intervenção de um operador e pode coletar dados de HISAS, SSS, MBE e SBP para avaliar enterro, flambagem e possíveis danos visíveis. Durante o levantamento, a câmera de bordo coleta um mosaico de imagens para a inspeção visual da condição do duto, junções, ânodos, entre outros. Esses dados são rapidamente visualizados na ferramenta de análise no ambiente GIS que, para fins de qualidade, identifica áreas de preocupação para inspeção adicional.

O mapeamento é a terceira de três etapas realizadas para gerar o produto final da inspeção preliminar (aquisição, geoprocessamento e mapeamento).

6.1 Redundância de informações

Com a finalidade de obter dados de alta qualidade e acurácia no mapeamento, é necessário considerar a redundância de informações como um importante fator. A redundância de informações ocorre quando são levantados, pelo AUV, diferentes dados com diferentes sensores de uma mesma área, para possível identificação de eventos. Os eventos identificados podem ser ruídos e é possível fazer a análise com dados levantados por diferentes sensores. Nas imagens 31, 32 e 33 abaixo, é possível observar o mesmo evento – sucata próxima ao duto – tanto em imagem HISAS, como em batimetria e foto de alta resolução.

Figura 32: Sucata próxima ao duto mostrada por imagem HISAS.

Figura 33: Sucata próxima ao duto mostrada por foto da alta resolução.

Figura 34: Sucata próxima ao duto mostrada pela batimetria.

6.2 Processamento dos Dados

Um dos grandes desafios do mapeamento de regiões submarinas com dados coletado por AUV é a grande quantidade de dados adquiridos durante o levantamento. Para o processamento de tais dados, recursos como softwares especializados, um servidor com grande capacidade de processamento e pessoal qualificado são algumas das principais ferramentas para lidar com esse desafio.

6.3 Ambiente GIS

Um Sistema GIS – Sistema de Informação Geográfica (ou SIG – *Geographic Information System*) é um sistema de software de informação espacial que permite análise e representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. Segundo a Universidade de Edinburg, na Escócia, a definição de GIS é a prática de "um sistema informatizado para captura, armazenamento, verificação, integração, manipulação, análise e visualização de dados relacionados a posições na superfície terrestre" (Santos, A. R. et al. 2010).

As ferramentas GIS dão todo o suporte necessário para a elaboração de um estudo consistente e preciso. Abaixo são listadas algumas aplicações de GIS.

- Serviços públicos – Bombeiros, polícia, saúde, trânsito e educação.
- Indústria e comércio – Mineração, comunicações, logística, agricultura, marketing etc.

- Meio-ambiente – monitoramento e modelamento.
- Economia – indicadores sociais, econômicos, políticos.

Com o aumento do volume de dados produzido pela humanidade em diversos ramos da ciência, surgiu a necessidade de melhor representar as conclusões dos estudos. Com um ambiente GIS é possível reduzir milhares de registros numéricos ou de texto em um único mapa facilitando todas as referências necessárias para a compreensão das informações.

No ambiente GIS, é possível representar os dados utilizando gráficos, nos quais a representação visual dos dados é em forma de mapas, com subdivisões em Vetores e Raster (Imagens). Os vetores referem-se a linhas, pontos, polígonos com coordenadas X,Y que permitem o posicionamento dos eventos em mapas para representação do local mapeado. A figura 1 é um exemplo de dados vetoriais com informações individuais dos objetos.

ID	Foto	Compr.	Tipo	Diâmetro
0	1 foto_1271.872.9004	1387.01	2	0.10
1	2 foto_2571.872.9498	1378.52	2	0.14
2	3 foto_1271.872.8254	1246.00	3	0.21
3	4 foto_1271.872.9861	1160.29	2	0.10
4	5 foto_0001.002.0003	1675.26	3	0.21
5	6 foto_1271.872.1872	1145.57	3	0.09
6	7 foto_1341.872.9016	1694.13	1	0.15
7	8 foto_1271.872.8289	1901.59	2	0.15
8	9 foto_0001.002.0003	1746.77	2	0.15
9	10 foto_1271.872.8254	1202.58	2	0.15
10	11 foto_1341.872.9016	388.71	2	0.09

Figura 35: Ambiente GIS representando tabela de atributos de mapeamento.

A informação espacial é um elemento chave em empresas do ramo de Óleo & Gás, das primeiras análises de oportunidade de exploração até o abandono de um campo, passando pela perfuração e produção. Estima-se que mais de 80% dos dados utilizados no negócio de O&G tem um componente espacial, o que significa que estes dados podem ser acessados por meio de um mapa ou associados a algo cuja localização é ou pode ser conhecida.

Há anos, as empresas de petróleo têm usado o ambiente GIS para tomada de decisões sobre quais os locais mais apropriados para lançamento de equipamentos, perfuração de poços, alocação de gasodutos, recuperação de uma área de exploração e gerenciamento riscos. A plataforma GIS oferece soluções para as questões descritas, assim como acompanhamento mapeado em cada aspecto do ciclo de vida do negócio.

Benefícios da tecnologia GIS:

- Gerir grandes quantidades de dados integrados a fluxos de trabalho, gerando estrutura de fácil compreensão.
- Dados referenciados no tempo e no espaço.
- Execução de análises espaciais complexas entre dados dispostos em 2D ou 3D.
- Coletar, visualizar e compartilhar rapidamente informações de diferentes locais, acesso remoto.

Além disso, o uso de ambiente GIS e *shapefiles* torna possível a utilização dos dados gerados em diferentes plataformas.

7. Estudo de Caso

A busca por petróleo tem levado a indústria de Óleo & Gás a profundidades cada vez maiores e a possibilidade da utilização de AUVs em levantamentos torna possível as operações em ambientes extremos. *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, no Mar do Norte e na Bacia de Campos, com profundidades entre 80 e 2300 metros (Bingham, D., et al., 2002).

Para estudo do caso em questão, uma área hipotética de exploração de petróleo contendo 9 quilômetros quadrados é escolhida, onde existem 128 quilômetros de dutos. Após levantamento com AUV e processamentos dos dados, são adquiridos como insumos para o mapeamento 240 mil fotos e 1,5 TB de informações de SAS e batimetria. As imagens de HISAS de cobertura da área, batimetria e fotos georreferenciadas em um ambiente GIS são os insumos necessários para mapeamento e inspeção preliminar da área.

Como a área a ser mapeada é bastante grande, ela é subdividida em *grids* para melhor manuseio dos dados, possível mapeamento simultâneo e diminuição do custo e tempo de operação. Assim como as áreas muito grandes, espaços que apresentam grande densidade de dutos e/ou equipamentos submarinos são divididas em áreas ainda menores.

Figura 36: Grids da área a ser estudada.

Por meio de diversas imagens de HISAS da área, criando um mosaico no ambiente GIS, é possível ter uma visualização completa de alta resolução e nitidez.

Tabela 2: Volume de dados da área em questão.

DADO	TAMANHO
Fotos	240 mil (1,5TB)
Batimetria	81,6GB
HISAS	43,1 GB

Figura 37: Imagem de SAS de alta qualidade, exemplificando a visualização dos dutos da área hipotética a ser estudada.

Figura 38: Imagem meramente ilustrativa de SAS exibindo o cruzamento de dutos.

A digitalização das linhas representando os dutos é feita em ambiente GIS, no qual essas linhas são digitalizadas em forma de vetor e todas as características importantes são inseridas em uma tabela de atributos, conforme finalidade do produto.

Figura 39: Exemplo de digitalização das linhas e tabela de atributos.

Figura 40: Área hipotética após digitalização dos dutos.

Após a digitalização das linhas, é feito o cadastro de eventos relativos aquela área. Os eventos podem ser classificados como: cruzamentos entre linhas, danos, equipamentos, sucatas, vãos livres, enterramentos, buracos, rochas, coral, entre outros eventos que podem vir a ameaçar a integridade dos dutos.

Figura 41: Exemplo de cadastro dos cruzamentos entre dutos.

É importante ressaltar que é gerado, de acordo com programas desenvolvidos, um *footprint* (ou caminho de fotos) para todos os dutos vetorizados, possibilitando a visualização de detalhes necessários. Para cadastro das informações do evento indicado na figura 40 abaixo, representando um cruzamento entre dutos, é necessário escolher fotos que mostrem com definição qual duto está passando por baixo e qual duto está passando por cima.

Figura 42: Representação de um cruzamento entre dutos no ambiente GIS com footprint.

Figura 43: Área hipotética após cadastro dos cruzamentos entre dutos.

Figura 44: Área hipotética após cadastro de todos os eventos.

A área hipotética descrita no estudo de caso, após mapeamento, apresentou aproximadamente 4700 eventos e 1400 cruzamentos entre dutos, em 128 quilômetros de linhas.

Ao final do estudo de caso, foi possível concluir que os AUVs são uma tecnologia emergente que já é capaz de proporcionar dados de ótima qualidade para gerar um produto final de mapeamento. É visível que novos avanços virão para desenvolver cada vez mais a tecnologia e o mercado *offshore* será amplamente beneficiado.

Exemplo de produto final de mapeamento com imagem HISAS ao fundo.

7.1 Relatório de inspeção

Com a área mapeada, é gerado um relatório de inspeção preliminar que possibilita a avaliação, controle, levantamento de possíveis riscos, tomada de decisão e planejamento de operações necessárias. Tal relatório é elaborado por uma equipe multidisciplinar especializada. Os insumos são: dutos digitalizados; dados como batimetria, HISAS, fotos; eventos cadastrados e *shapefiles*.

O principal objetivo da confecção do relatório é a possibilidade de efetuar uma inspeção preliminar na área de exploração para, se necessário, fazer uma operação com ROV de intervenção pontual. A inspeção com AUV não elimina a necessidade da utilização de ROV nas operações. O processo de inspeção com AUV apresenta uma mudança de paradigma abrindo novas frentes, nas quais o ROV passa a ser complementar ao AUV, agilizando o processo e diminuindo custos.

7.2 Dificuldades encontradas

Uma das maiores dificuldades encontradas no mapeamento da área de estudo em questão é o grande volume de dados utilizados como insumo. Além da quantidade de fotos, são coletados pelo AUV um grande volume de imagens HISAS e dados de batimetria, como pode ser observado na tabela 3, abaixo.

Tabela 3: Quantidade de dados adquiridos em levantamento por AUV.

	EM 2040	HISAS
Quantidade de dados (GB/h)	2	3.5
Total/dia (GB)	48	84

Para mapeamento com um número elevado de dados, são necessários processadores de ponta, o que encarece o processo significativamente. Para lidar com tal dificuldade, foi necessário desenvolver diversos programas que auxiliam na automação e agilidade do processo, aumentando a produtividade e eficiência e gerando uma redução no custo.

Com o estudo das etapas críticas do processo, foram identificados procedimentos mecânicos que são independentes da inteligência humana que foram automatizados. Uma das etapas automatizadas foi a separação de fotos válidas para representação dos dutos. Com isso, foi criado automaticamente um mapa contendo a posição de cada foto válida, com seu *footprint*, para uma rápida visualização da área coberta.

Figura 45: Footprint de fotos de uma área hipotética.

Assim como o exemplo das fotos, diversas outras etapas foram automatizadas para melhor qualidade do produto final. Um resumo encontra-se na tabela 4 abaixo.

Tabela 4: Processos manuais x automatizados.

Etapas do processo	Manual	Automatizado
Visualização e validação de cobertura	Meses	Horas
Separação de fotos para inspeção	Meses	Minutos
Separação e nomeação de Imagens de Eventos Identificados: Fotos	Dias	Segundos
Separação e nomeação de Imagens de Eventos Identificados: SAS	Dias	Minutos
Confecção de relatório	Meses	Horas

A automação dos processos em questão aumenta a produtividade e a qualidade e reduz prazos, custos e riscos.

Todos os procedimentos descritos demandam um minucioso controle de qualidade, no qual todos os dados são conferidos diversas vezes por diferentes profissionais.

8. Conclusão

Ao final do trabalho, é possível concluir que os AUVs já são uma realidade no mercado atual para as mais diversas finalidades. Desde a sua entrada no mercado no início da década de 1990, AUVs encontraram uso em diversas áreas de aplicação: naval, pesquisas oceanográficas e indústria *offshore*. A maior autonomia de operação e a grande qualidade dos dados vêm fazendo com que os AUVs tomem o mercado que antes era dominado por ROVs. A tecnologia vai se impor cada vez mais nos próximos anos pois possui vantagens claras. É importante conhecê-la e dominá-la, assim como desenvolver procedimentos operacionais e um controle de qualidade com equipes altamente qualificadas e multidisciplinares.

Apresentam algumas limitações, mas a gama de possibilidades que se abre com o desenvolvimento e a evolução de novas tecnologias faz com que esses veículos apresentem o melhor caminho a seguir. Os pontos positivos dos AUVs são numerosos, além da melhor qualidade dos dados, as experiências comerciais já demonstraram que o custo de operações de *survey* em águas profundas com AUV pode ser reduzido de 40 a 60% comparado com operações com ROV.

A conclusão baseia-se na comparação do levantamento realizado com um AUV e o procedimento de inspeção clássico que utiliza ROV. A questão de se um AUV pode ser usado na inspeção de dutos e equipamentos submarinos com a mesma ou melhor qualidade como um ROV vem mostrando resultados positivos para a identificação de pequenos danos e condições ambientais de seu entorno. As percepções preliminares mostram que as imagens são de boa qualidade e podem ser usadas para identificar algum tipo de danos. Os resultados preliminares sobre produtividade indicam que o AUV é mais rápido que o ROV, o levantamento é com SAS permite a inspeção de vários gasodutos ao mesmo tempo viajando em 4 nós, enquanto o ROV navega em menos de 1 nó para inspecionar e examinar apenas 1 duto de cada vez. Os resultados preliminares são satisfatórios.

9. Referências bibliográficas

- AGLEN, A. Sources of error in acoustic estimation of fish abundance. In: FISH, Marine. *Behaviour in Capture and Abundance Estimation*. Ed. by A. Ferno, and S. Olsen. Fishing News Books, Oxford, 1994.
- ANTENUCCI, J. C. et al. *Geographic Information Systems: a guide to the technology*, 1991
- BELLINGHAM, J. et al. *A small long range autonomous vehicle for deep ocean exploration*, 1992
- BINGHAM, D., et al. *The Application of Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Technology in the Oil Industry – Vision and Experiences*, 2002.
- BLIDBERG, R. The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV); A Brief Summary. Autonomous Undersea Systems Institute, Lee New Hampshire, USA.
- BREIVIK, M.; FOSSEN, T. I. *Guidance laws for autonomous underwater vehicles*. 2009, pp 51-76.
- BRIERLEY, A. S.; FERNANDES, P. G. *Diving depths of northern gannets: acoustic observations of Sula bassana from na autonomous underwater vehicle*. The Auk, 2001.
- BRIERLEY, A. S.; THOMAS, D. N. *On the ecology of Southern Ocean pack ice*. Advances in Marine Biology, 2002.
- BRIERLEY, A. S., et al. *Antarctic krill under sea ice: elevated abundance in a narrow band just south of ice edge*. Science, 2002, 295: 1890–1892.
- BUTLER, B.; BLACK, M. *Theseus Autonomous Underwater Vehicle – Two Successful Missions*, 1997.
- CARRON, M. J.; VOGT, P. R.; JUNG, W.Y. *A proposed international long-term project to systematically map the world's ocean floors from beach to trench: GOMaP (Global Ocean Mapping Program)*, 2001.
- CHRYSSOSTOMIDIS, C.; SCHMIDT, H. *Autonomous Underwater Vehicles*. 2006.
- CURTIN, T. B. et al. *Autonomous oceanographic sampling networks*. 1993.
- DUKAN, F. *ROV Motion Control Systems. Doctoral Thesis – Norwegian University of Science and Technology*. 2014.
- EWART, T. E. *Observations form Straight Line Isobaric Runs of SPURV*. 1976.
- FOX, C. G. *Objective classification of oceanic ridge-crest terrains using twodimensional spectral models of bathymetry*. 1996.

FREON, P.; MISUND, O. A. *Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment*. Fishing News Books, Oxford, 1999.

GERRARD, S. et al. *Drill Cuttings Piles in the North Sea: Management Options During Platform Decommissioning*, Centre of Environmental Risk, Research Report n. 31, London, October, 1999.

GRIFFITHS, G. *Ocean Science Applications For Autonomous Underwater Vehicles: The Work Plan For Autosub-1 for 1997-2000 And Beyond*. Unmanned Underwater Vehicle. Showcase 24-25, Southampton, UK, 1997.

GRIFFITHS, G. et al. *Oceanographic surveys with a 50 hour endurance autonomous underwater vehicle*. 2000.

HAGEN, O. K.; HAGEN, P. E. *Terrain Referenced Integrated Navigation for Underwater Vehicles*. Proc. GOATS 2000 Conference, SACLANTCEN Technical Report, La Spezia - Italy, 2001.

HAGEN, P. E. *Dual Use Development: The HUGIN Untethered Underwater Vehicle*. Documentation from SMi conference Naval Mines, London - UK, 2000.

HAGEN, P. E., STORKERSEN, N. *Operational military use of the HUGIN AUV in Norway*. 2003.

LEONARD, J. J. et al. *Autonomous Underwater Vehicle Navigation*, 1998.

MACLENAN, D. N.; SIMMONDS, E. J. *Fisheries Acoustics*. Chapman and Hall, London, 1992.

MANDT, M.; GADE, K.; JALVING, B. *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, 2001.

MARITIME, K. et al. *Pipeline inspection with synthetic aperture sonar*. Proceedings of the 33th scandinavian symposium on physical acoustics, 2010.

MAYER, L.A. *Frontiers in seafloor mapping and visualization*. Marine Geophysical Researches, 27, pp 7–17, 2006.

MICHAEL, J. L.; LE ROUX, H. *Epulard: Deep bottom surveys now with acoustic remote controlled vehicle, first operational experience*, 1981.

MITSON, R. B. *Acoustic detection and estimation of fish near the seabed and surface*. FAO Fisheries Report, 300: 24–37, 1983.

NEWTON, R. S.; STEFANON, A. *Application of side scan sonar in marine biology*. 1975.

ROMAN, C.; MATHER, R. *Autonomous underwater vehicles as tools for deep-submergence archaeology*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment 224 (4): 327-340. 2010)

SANTOS, A. R. et al. *ARCGIS 9.3 total: aplicação para dados espaciais*. Porto Alegre, CAUFES, 2010.

SHAHZER, M. A. *Autonomous Underwater Vehicle, National Competition on Student Autonomous Underwater Vehicle (SAVe)*. India, 2014.

SIMMONDS, J. et al. *Autonomous underwater vehicles: future platforms for fisheries acoustics*. 2003.

SMITH, W. H. F.; SANDWELL, D. T. *Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings*. Science. 1997.

STERNLICHT, Daniel; PESATURO, J. F. *Synthetic aperture sonar: Frontiers in underwater imaging*. Sea Technology 45, 2004.

STEVENSON, P.; FURLONG, M.; DORMER, D. Auv shapes - combining the practical and hydrodynamic considerations. In: _____. *OCEANS 2007*. 2007.

VESTGARD, K.; KLEPAKER, R. A.; STORKENSEN, N. *5 Years of HUGIN AUV Offshore Surveying – What's Next?*. Proc. Underwater Intervention 2003, New Orleans - LA, USA, 2003.

VIJAY, S. *Autonomous Underwater Vehicles*. Mandya – India, 2011.

VON ALT, C. J. et al. *Remote Environmental Measuring Units*. 1994.

_____. *Autonomous Underwater Vehicles*. 2003