

V SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

Promoção:



Robótica Submarina: Especificidades e Aplicações

André Luis Sousa Sena^{*}, Eduard Montgomery Meira Costa^{**}

^{*}
Área 1 - Faculdade de Ciência e Tecnologia

^{**}
Área 1 - Faculdade De Ciência e Tecnologia
UFBA/PPGM- Universidade Federal da Bahia

GRUPO: ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

TEMA: Sistemas Mecatrônicos e Aplicações

PALAVRAS CHAVE: Robótica Submarina, Remotely Operated Vehicle (ROV), Autonomus Underwater Vehicles (AUV), Corpo Rígido, Navegação Inercial, Navegação Doppler.

RESUMO - A robótica submarina oferece aos cientistas uma ferramenta poderosa para as pesquisas no ambiente submarino, através de modelagens matemáticas e desenvolvimento de novos algoritmos. A solução para o problema do controle de veículos submarinos possui uma evolução constante, e com isso, os veículos robóticos de atuação submarina destacam-se como ferramentas seguras de aquisição de dados, atuação e suporte a operações submarinas.

ABSTRACT - *The underwater robotics offers to scientists a powerful research tool of submarine environment, through mathematical modeling and the development of new algorithms. Improvement of submarine vehicles control is set up, and thus, the performance of submarine robotic vehicles is stood out as safe data acquisition tools, performance and submarine operations supporting.*

1. INTRODUÇÃO

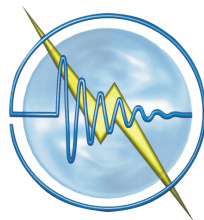
O aumento na demanda das aplicações comerciais e industriais buscando a utilização do leito submarino como base de suporte a cabos de comunicações e transmissão de energia, assim como, operações que envolvem a indústria de exploração petrolífera, representa um forte estímulo ao desenvolvimento de ferramentas e técnicas que permitam um suporte mais eficiente a operações que envolvam estas áreas. Outro fator de forte incentivo advém do aumento da pressão mundial para a utilização racional dos recursos naturais e o gerenciamento adequado destes.

O ambiente marinho configura-se como uma grande fonte de alimentos e minerais [1]. A exploração deste ambiente fornece aos cientistas grandes possibilidade para o desenvolvimento de novas substâncias e remédios, além do que, a

grande massa oceânica destaca-se como fundamental para a regulação climática do planeta. Se em tempos remotos o mar era considerado uma barreira quase intransponível, servindo como fronteira natural entre países ou continentes, hoje, figura como um marco da globalização, permitindo o grande fluxo de mercadorias, comunicações e recursos diversos através do planeta.

Para o Brasil, a utilização da tecnologia aplicada ao estudo das explorações oceânicas e pluviais tem grande importância, notada devido a sua grande costa marítima e as diversas bacias hidrográficas. A sua grande riqueza em biodiversidade e recursos minerais é fator motivador para o desenvolvimento de ferramentas específicas, que permitam o seu real conhecimento, resultando em um melhor gerenciamento dos seus potenciais, além de promover a segurança da navegação pluvial e costeira.

O estudo dos recursos ambientais no meio submarino é dificultado devido às barreiras naturais impostas ao ser humano como: altas pressões e baixas temperaturas. Hoje, através do mergulho de saturação, um mergulhador poderá atingir a uma profundidade de aproximadamente 300m para a execução de resgates ou trabalhos técnicos, a pressão a essa profundidade pode atingir 30 atmosferas equivalentes a 45 toneladas. A pressão mecânica exercida pela água torna obrigatória a pressurização gradual do organismo do mergulhador e utilização de uma mistura gasosa adequada em seu cilindro de ar, aliados a um processo adequado de compressão e decompressão. O decréscimo da temperatura na água em relação ao aumento da profundidade é um fator com menor criticidade em relação aos problemas provocados pela pressão, a 500m de



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

profundidade a temperatura da água pode atingir até 12°C.

Os fatos citados demonstram a importância do desenvolvimento de ferramentas e técnicas que permitam a viabilização da exploração segura e responsável, além da coleta de dados com qualidade e precisão, para o monitoramento e gestão dos recursos ambientais disponíveis, com o menor impacto possível ao meio ambiente. Neste campo a robótica submarina se apresenta como peça principal para o desenvolvimento destas técnicas, permitindo prover uma plataforma dinâmica de estudos e incursões ambientais.

Destacam-se dois grandes grupos de robôs submarinos, os *Remotely Operated Vehicle* (ROV) e os *Automated Underwater Vehicles* (AUV) [2], ambos desenvolvidos inicialmente para aplicações militares [9]. Os ROVs e AUVs podem ser entendidos como veículos não tripulados. Constituem boas plataformas de suporte a operações comerciais e de pesquisas, permitindo redução de custos, aumento de desempenho e segurança a mão de obra humana. O objetivo deste artigo é apresentar as principais áreas de interesse as implicações físicas e matemáticas que envolvem a área da robótica submarina.

2. Aplicação

Dentre as áreas de aplicação da robótica submarina destaca-se a inspeção e atuação em estruturas de apoio à indústria petrolífera, cabos de telecomunicações e transmissão de energia. Um veículo subaquático construído pela marinha dos Estados Unidos em 1958 poderia ser considerado como a primeira aplicação prática da robótica submarina, o veículo em questão classificava-se como um ROV [1].

A aplicação da robótica submarina em algumas áreas permite a redução dos custos e aumento da eficiência do trabalho, agregando uma maior segurança a mão de obra humana. As principais áreas de interesse são: Biologia marinha, oceanografia e meteorologia; Infra-estrutura e aplicação de cabos submarinos; Inspeção de cascos de navios, canais de navegação e estruturas submersas de portos; Inspeção dos aquedutos e estruturas de barragens e usinas hidrelétricas; Acompanhamento de trabalhos de mergulho; Localização e resgate de peças e equipamentos; Pesquisas arqueológicas e Apoio a montagens e manutenção de equipamentos de exploração petrolífera.

Seu grande campo de aplicação ainda é o da exploração petrolífera em alto mar. As adversidades ambientes impõem a aplicação desta tecnologia com grande intensidade à

medida que a profundidade de exploração aumenta. Em 1949 as explorações de petróleo no mar atingiam uma profundidade média de 5m. Depois de 20 anos a profundidade de operação situava-se a 100m. Em 2004 estas operações ocorriam em média a 2292m de profundidade [7].

3. Modelamento Matemático de um veículo submarino

As implicações físicas e matemáticas que envolvem a área da robótica submarina exigem esforços significativos para determinação de uma modelagem matemática adequada e coerente com todas as interações sofridas por um veículo submarino.

Para a correta modelagem desses veículos, mais conhecidos como ROVs e AUVs, é necessário utilizar um paradigma matemático que expresse da melhor forma possível o seu comportamento estático e dinâmico no ambiente inserido. Para isso, utiliza-se o conceito de corpo rígido, bem como um sistema adequado de coordenadas que permita descrever a sua movimentação no meio. Existem algumas teorias matemáticas aplicáveis a este modelo, sendo o mais comum, a que utiliza o teorema de Euler [2,4]. Alguns autores descrevem a modelagem pelo conceito matemático dos quatérnios [2].

A modelagem é dividida em duas partes: cinemática e dinâmica.

3.1 Cinemática

A necessidade de traçar estratégias de controle baseadas em modelos matemáticos [4] leva a descrever o veículo submarino como um corpo rígido, devido a sua dimensão não ser desprezível e sua massa distribuída ao longo do corpo.

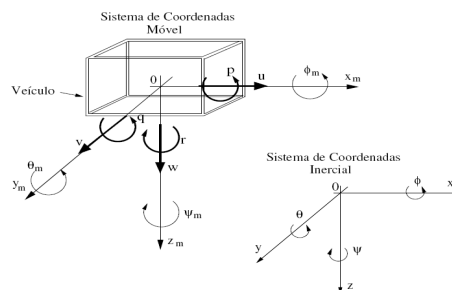
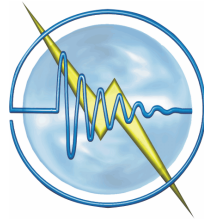


Figura 1-Sistema de Coordenadas [4].

Observa-se que este modelo possui seis graus de liberdade: três de translação e três de rotação. O tratamento matemático viabiliza implementações em relação à estabilidade e controlabilidade, entre outras facilidades.

A notação utilizada para orientação do corpo no espaço está de acordo com a utilizada pela *Society Naval Architects and Marine Engineers* estabelecida em 1950 [10].



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

Na Figura 1, observa-se o sistema de coordenadas utilizadas para a modelagem adequada de um corpo rígido, onde se considera um referencial inercial e outro não inercial, este situado no móvel.

A posição no veículo η_1 e a sua orientação no espaço ou atitude η_2 em relação ao referencial inercial, podem ainda ser expressas como:

$$\eta_1 = [x \ y \ z]^T; \eta_2 = [\phi \ \theta \ \psi]^T \quad (3.1)$$

resultando em:

$$\eta = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T \quad (3.2)$$

em que: Φ_m representa o ângulo de jogo (*roll*), θ_m é o ângulo de arfagem (*pitch*) e ψ_m é o ângulo de rumo (*heading*), todos no referencial não inercial.

As velocidades de translação e rotação do veículo podem ser determinadas via derivação do seu vetor posição e atitude:

$$\dot{\eta}_1 = \begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{bmatrix}^T; \dot{\eta}_2 = \begin{bmatrix} \dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T \quad (3.3)$$

resultando em

$$\dot{\eta} = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T \quad (3.4)$$

A relação das velocidades entre o sistema inercial e não inercial é dado por:

$$\begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & 0 \\ 0 & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

sendo $J_1(\eta_2)$ a matriz jacobiana de rotação, responsável pelas componentes da velocidade linear v_1 no sistema absoluto, e $J_2(\eta_2)$ representando a matriz jacobiana que relaciona a velocidade angular v_2 no referencial inercial [9].

3.2 Dinâmica

A dinâmica de veículos subaquáticos diz respeito à interação do veículo com o meio, estabelecendo uma relação de causa e efeito das partes integrantes do próprio veículo e deste com o meio no qual se encontra.

O veículo sofre a ação de forças externas como: arrasto, sustentação, empuxo, propulsão, massa adicional, correntes marinhas e ondas. Segundo a mecânica Newtoniana a dinâmica de um ponto material de massa m sobre a ação de forças externas com o somatório τ_1 , movendo-se em um meio é regida pela equação:

$$m\ddot{\eta}_1 = \tau_1 \quad (3.6)$$

em que $\ddot{\eta}_1$ representa a aceleração resultante do móvel frente a força resultante τ_1 .

O efeito das forças de Coriolis e centrípeta devem ser relacionados com a matriz de inércia do corpo resultando em:

$$M_{CR} \dot{V} + C_{CR}(v)v = \tau \quad (3.7)$$

em que $M_{CR} v$ representa a matriz de inércia; e $C_{CR}(v)v$, as forças de Coriolis e centrípeta.

3.3 Forças de Arrasto e Sustentação

A força de arrasto é paralela à direção da velocidade do veículo em relação ao fluido [2] e está relacionada a dois fenômenos: fricção de superfície e arrasto devido à pressão [4], enquanto que a de sustentação é ortogonal à velocidade do veículo em relação ao fluido [2].

Para veículos com geometria indefinida e baixa velocidade, como em ROVs, o arrasto é desprezível [4]. Para o caso de AUVs, a sua construção geralmente prevê o modelo de envelope fechado o que favorece o aparecimento da componente de sustentação [4].

A quantificação da força de arrasto pode ser considerada através da expressão:

$$F_D = -0,5\rho C_d S|v|v \quad (3.8)$$

em que ρ simboliza a densidade do meio; C_d representa a matriz dos coeficientes de arrasto hidro-dinâmicos; S é a área da superfície molhada e v é a velocidade do veículo.

3.4 Forças Gravitacional e de Empuxo

Por questão de segurança alguns veículos submersíveis teleoperado são projetados para possuírem flutuabilidade ligeiramente positiva (força de empuxo maior do que a força peso), levando o veículo lentamente para a superfície no caso de problemas em seu sistema de propulsão. Nos AUVs a flutuabilidade neutra garante o menor esforço de deslocamento, otimizando o consumo de energia. A flutuabilidade neutra requer que as densidades do veículo e do fluido sejam idênticas. As forças peso (W) e de empuxo (B) podem ser calculadas através das equações:

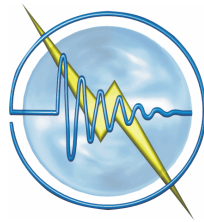
$$W = m \cdot g \quad (3.9)$$

$$B = \rho g \nabla \quad (3.10)$$

em que m é a massa do corpo; g é a força da gravidade; ρ é a massa específica do fluido e ∇ é o volume do veículo.

3.5. Estabilidade

Na robótica submarina o conceito de estabilidade pode ser usado no desenvolvimento do controle passivo do veículo. Isso permite desenvolver um controlador mais simplificado, deixando-se de controlar alguns movimentos do veículo.



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

Freqüentemente, utiliza-se em projetos roll (ϕ) e pitch (θ) estabilizados passivamente, simplificando a modelagem do veículo e reduzindo de seis para quatro a ordem do sistema controlado [4].

4. Sistemas de orientação e navegação

Navegar pode ser entendido como o processo de deslocar um determinado corpo de uma posição inicial até uma posição final, orientando o seu trajeto com objetivo de atingir o destino desejado [5].

A navegação inercial é a mais utilizada nas aplicações que envolvem a robótica submarina, como qualquer sistema de navegação possui vantagens e desvantagens. Entretanto, as vantagens associadas a sua aplicação viabilizam os estudos para a sua utilização.

4.1 Navegação Inercial

Um sistema de navegação inercial básico é composto por um giroscópio e três acelerômetros, um para cada eixo de orientação do sistema de coordenadas cartesianas.

O giroscópio é responsável pela determinação das rotações sofridas pelo corpo ao longo de sua trajetória enquanto os acelerômetros registram as acelerações lineares nos seus eixos.

O acelerômetro é composto por uma massa m que pode sofrer um deslocamento do seu ponto de repouso devido as resultantes de inércia. A massa m desloca-se sobre um eixo em uma razão que é proporcional a força resultante aplicada a essa massa, conforme a segunda lei de Newton.

Determina-se a força de aceleração a que o veículo está submetido. Integrações sucessivas deste valor em relação ao tempo, fornece a velocidade e a distância percorrida. Um acelerômetro conceitual pode ser observado na Figura 2. Nesta, em (1) observa-se o veículo em estado de repouso, a massa m não se desloca ao longo do eixo de referência composto por uma escala. Em (2) observa-se que o veículo desloca-se com uma aceleração $+g$ medida através do deslocamento da massa m em seu eixo de referência.

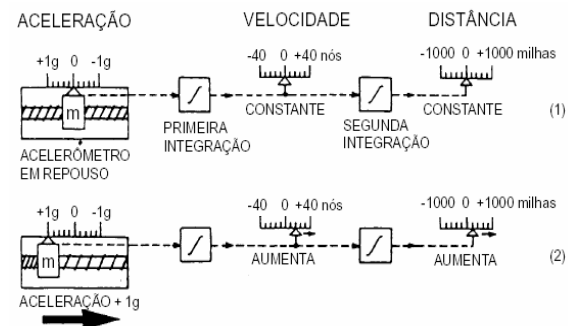


Figura 2 - Modelo simplificado de um acelerômetro [8].

Algumas das desvantagens deste sistema de navegação podem ser amenizadas ou até mesmo suprimidas com a utilização de outros sistemas associados como, GPS para aplicação não submarina e radar *doppler* para aplicações subaquáticas.

4.2 Navegação Doppler

Esta forma permite determinar a velocidade e a profundidade verdadeira de um veículo [8]. Foi apenas em 1920 que a propagação do som na água passou a ser usada como forma de medição da profundidade dos oceanos, essa aplicação se deve a menor atenuação das ondas acústicas na água, em contraste com as ondas eletromagnéticas.

A velocidade do veículo fonte (emissor do sinal), é dada segundo a Equação (4.1), resultado da lei de Doppler-Fizeau.

$$v = C \left(1 - \frac{f}{f'} \right) \quad (4.1)$$

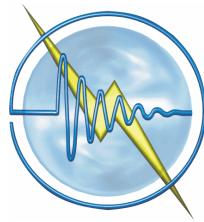
em que v é a velocidade da fonte (Incógnita desejada); C representa a velocidade do som na água; f é a freqüência da onda acústica transmitida e f' é a freqüência da onda acústica recebida (medida).

A navegação Doppler é dificultada em determinadas aplicações devido a variações de densidade, salinidade e temperatura da água. Técnicas de compensação podem ser utilizadas para corrigir ou minimizar eventuais desvios no sistema.

Com objetivo de minimizar os erros provocados por distúrbios diversos, os sonares para utilização em sistemas de navegação Doppler são produzidos com um arranjo especial. Este tipo de arranjo é denominado de configuração Janus.

5. Sistemas de controle

O controle de um veículo submarino deve prever a possibilidade de no mínimo quatro graus de liberdade, caso mantenham-se estáveis pelo menos dois graus de liberdade, mesmo assim, requer uma atuação computacional intensa, a



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

navegação e o controle no ambiente submarino é um fator crítico para a robótica.

A movimentação do veículo neste meio é realizada com a ajuda de propulsores, que podem ser motores elétricos ou hidráulicos com hélices acopladas em seu eixo. O comportamento dinâmico do ROV dificulta o seu controle, seus graus de liberdade são altamente interativos tornando as missões longas e cansativas [3].

Alguns autores propõem um modelo de posicionamento dinâmico, mas que permita o desacoplamento dos seus graus de liberdade, resultando em uma estratégia de controle com menor criticidade para o caso de predominância em baixas velocidades, promovendo uma aproximação de um comportamento não linear para um comportamento linear.

Para o controle horizontal e vertical a maioria dos projetos de veículos submarinos é desenvolvida com controladores PID, pois a facilidade de implementação e sintonia dos parâmetros é vantajosa. É usual a utilização de um sensor de pressão como elemento de entrada para o posicionamento vertical e um módulo inercial como o elemento de entrada para a navegação horizontal.

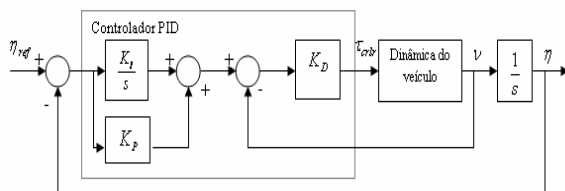


Figura 3 - Diagrama de um sistema de controle PID para veículos submarinos [4].

7. Tecnologias e Veículos

A maior parte da bibliografia que trata sobre robótica submarina divide esta área em dois grandes grupos, os ROVs e AUVs [2]. Estes veículos podem transportar uma série de equipamentos com objetivo de apoiar a sua missão, os dispositivos mais comuns são: Câmeras de vídeo e fotográficas, eco-sondas, coletores e analisadores físico-químicos para amostras, módulos inerciais para navegação, garras e braços mecânicos [7].

Os AUVs são em sua grande maioria destinados a inspeções de trechos extensos de oleodutos e estruturas submersas, aonde não se possui a aplicação funcional de um ROV, ou sua aplicação seria onerosa, a sua utilização em operações está limitada a eficiência energética, daí a grande importância no projeto e implementação do seu sistema de baterias, a limitação estrutural do seu

corpo à pressão e acúmulos de erros do sistema de navegação inercial. Normalmente podem atingir grandes profundidades e desenvolver missões durante um longo intervalo de tempo.

Em 2000 existiam aproximadamente 1000 veículos submarinos robóticos em operação regular no mundo [7]. Na sua grande maioria ROVs, desenvolvidos para executarem trabalhos de inspeção submarina, construção e reparos de estruturas submersas. Suas operações ocorriam sob profundidades modestas até 1000m de profundidade [7]. O desenvolvimento tecnológico, impulsionado pelas pesquisas de componentes mais eficientes e com baixo consumo de energia, permite a utilização de equipamentos mais eficientes como, câmeras de alta resolução e sistemas de posicionamento dinâmico.

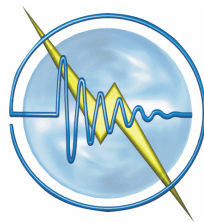
Os obstáculos naturais impostos aos sistemas de comunicação e as pesquisas na busca por uma maior eficiência energética figuram como pontos principais de discussão, pesquisa e desenvolvimento. Atualmente alguns submersíveis podem atingir profundidades de até 6000m e apenas um é capaz de atingir a profundidade de 11000m [7].

Atualmente existe uma tendência no desenvolvimento dos AUVs, com isso pretende-se melhorar a qualidade da aquisição de dados, diminuição no tempo de operação e submersão a maiores profundidades. A redução no número de equipamentos de suporte e mão de obra utilizada para operação de AUV permite uma diminuição significativa de custos.

7.1 Veículos de Operação Remota – *Remotely Operated Vehicle (ROV)*

Os ROVs são classificados de acordo com a sua forma de atuação. Os de inspeção, que normalmente possuem pequena dimensão e são mais ágeis e os de Intervenção, com estrutura mais robusta e maior dimensão, na sua composição existem ferramentas e braços mecânicos para a execução de serviços submersos.

Os ROVs são veículos operados remotamente, ou seja, existe uma conexão física através de um cabo com um operador situado em uma embarcação ou plataforma acima do nível do mar, esse operador dispõe de um painel de controle e sistemas auxiliares para a operação do veículo. Uma ilustração simples de um ROV conectado a embarcação de controle pode ser vista na Figura 4. O operador recebe os sinais dos sensores e sistemas eletrônicos embarcados no veículo, através de um cabo denominado "umbilical". Ainda pode visualizar as imagens das câmeras instaladas na sua estrutura. Através destes sinais e das imagens o operador controla o movimento



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

do ROV e sua trajetória fazendo-o cumprir a sua missão.

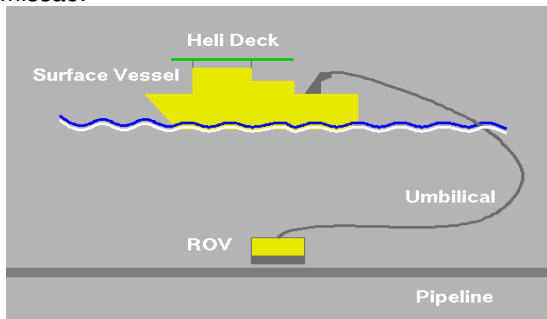


Figura 4 - Ilustração do ROV com a sua embarcação de operação [12].

O piloto do ROV deverá controlar a força resultante sobre o veículo, assim como, o ângulo de atuação desta força através da variação de velocidade no rotor dos propulsores ou utilizando um sistema de compensação de massa variando a densidade total do veículo, com variação ou não no centro de gravidade.

Normalmente utilizado em inspeções e intervenções, a atuação destes equipamentos em grandes profundidades é limitada, devido a sua conexão através do cabo umbilical, essa conexão física dificulta a transmissão de sinais de controle, energia e dados. Cabos umbilicais com elevada extensão impõem perdas e lentidão de resposta dos equipamentos remotos. Outro fator preocupante é a interferência que o peso e o fator de arrasto podem provocar na dinâmica do veículo promovendo tensões sobre o ROV.



Figura 5 – O ROV Panther [11].

Na Figura 5 observa-se um ROV de intervenção típico, equipado com câmeras de vídeo e braços mecânicos para execução de serviços de manutenção e montagem no fundo do mar. Em aplicações mais complexas e para trabalhos em altas profundidades normalmente outras embarcações de auxílio são requeridas. Estas embarcações possuem a tarefa de ajudar no posicionamento dinâmico do veículo permitindo a execução das missões.

7.1.1 Cabo umbilical

Como observado no item 7.1 o cabo umbilical é a ligação física do ROV com o seu centro de controle, normalmente disposto em terra ou em uma embarcação. Seu revestimento deve ser reforçado e estanque a água, normalmente possui múltiplos condutores de múltiplas tecnologias em seu interior: fibra ótica, cabo coaxial, utilizados na transmissão de imagens e condutores de cobre para transmissão da alimentação elétrica. A flutuabilidade dos cabos umbilicais deve ser neutra, interferindo o mínimo possível no deslocamento ROV. Essa conexão a um cabo umbilical é a maior desvantagem do ROV para missões em grandes profundidades e grandes extensões.

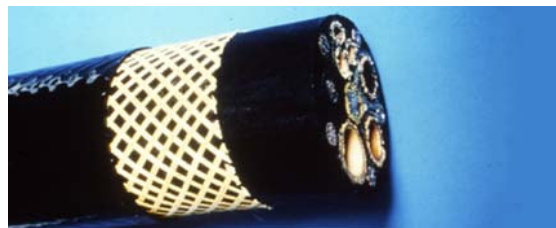


Figura 6 - Cabo umbilical em corte [14].

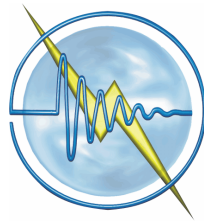
Na Figura 6 observa-se um tipo de cabo umbilical utilizado em ROVs. Normalmente constituído por cabos de alimentação e transmissão de sinais incluindo fibras óticas, estes cabos possuem excelente resistência mecânica e flutuabilidade neutra.

7.2 Veículos Subaquáticos Autônomos (Autonomous Underwater Vehicles – AUVs)

As operações petrolíferas em águas profundas assim como a indústria de telecomunicações de longa distância, necessitam de sistemas robóticos que permitam a inspeção de uma área extensa, a um custo razoável e com tempo de execução competitivo.

A partir dessas necessidades foram implementadas pesquisas e o desenvolvimento de uma classe de robôs denominados de AUVs, que constituem a classe autônoma da robótica submarina, com grande utilização em serviços de inspeção. Os AUVs não possuem conexão física com operadores ou sistemas na superfície, as missões são pré-programadas em seu computador embarcado e com o auxílio de sensores, executa a execução das missões com coleta de dados de alta qualidade que são armazenados em um sistema de armazenamento local para recuperação posterior.

A construção de um AUV prioriza a concepção do seu corpo dentro de um conceito de envelope fechado, permitindo um melhor aproveitamento



III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

da força de sustentação, e a diminuição da resistência hidrodinâmica, promovendo um bom impacto no gerenciamento energético do veículo.



Figura 7 - Ilustração de um AUV em operação [13].

Na Figura 7, pode-se observar um AUV executando uma missão de inspeção de um leito oceânico. Normalmente esses robôs possuem equipamentos sofisticados de navegação e controle, utilizam a navegação inercial com o apoio da navegação doppler para orientação e correção da sua trajetória, podem possuir câmeras de alta definição. São equipados com sensores magnéticos que permitem seguir trechos de oleodutos e cabos submarinos. Alguns AUVs podem possuir um modem acústico, permitindo a sua comunicação com outra unidade submersa.

CONCLUSÃO

As pesquisas na área da robótica submarina avançam em todo mundo. A demanda pelo desenvolvimento de ferramentas e algoritmos que solucionem os principais problemas envolvidos com o controle e coleta de dados é alta. Além disso, as necessidades de intervenção em sistemas onde a utilização da mão de obra é limitada ou não recomendada aumentam a sua área de aplicação.

Os equipamentos denominados de **ROVs** ainda são os mais utilizados, mas existe um consenso em relação ao aumento gradativo na utilização dos veículos **AUVs** para missões em que um **ROV** se mostra ineficiente, tais como: Inspeções de grande trecho de oleodutos submarinos ou em uso militar, como localização de minas explosivas. No Brasil a ênfase nas explorações petrolíferas marítimas impulsiona o mercado. Apesar disso, a grande maioria dos equipamentos, tecnologias e empresas prestadoras de serviços na área não são nacionais. O alto custo dos equipamentos dificulta a entrada de empresas nacionais na área.

O mercado é receptivo ao desenvolvimento e adequação de equipamentos, utilizando o máximo de tecnologia nacional, buscando assim reduzir custos adequando-os a uma realidade de

mercado, mantendo a qualidade dos serviços hoje prestados por equipamentos importados.

8. REFERÊNCIAS

- [1] J. Battle, P. Ridao, R. Garcia, M. Carreras, X. Cufí, A. El-Fakdi, D. Ribas, T. Nicosevici, E. Battle, (2004) **URIS: Underwater Robotic Intelligent System** - Computer Vision and Robotics Group University of Girona, Spain, disponível em (<http://vicolob.udg.es/fitxers/articles/doc/136.pdf>) - acessado em 11/11/2006.
- [2] Tavares, Adilson Melcheque, (2003) - **Um Estudo Sobre a Modelagem e o Controle de Veículos Subaquáticos não Tripulados** - Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 27-34.
- [3] Liu, H., Lizarralde, F., Costa, Ramon R., da Cunha, José Paulo Vilela Soares (2000) - **Avaliação experimental da modelagem e simulação da dinâmica de um veículo submarino de operação remota** - COPPE - UFRJ - Revista Controle e Automação - Vol11, N2, 82-93
- [4] de Souza, Eric Conrado (2003) - **Modelagem e Controle de Veículos Submarinos Não Tripulados** - Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, 13-50.
- [5] Torres, José Maria Cipriano (IC), Hemerly, Elder Moreira (PQ) (2002) - **Caracterização de Sensor Inercial e Aplicação em Barco Autônomo** - Artigo apresentado no VIII encontro de iniciação científica e pós graduação do ITA em 2002, disponível em (<http://www.bibl.ita.br/viiiencia>) - acessado em 05/01/2007.
- [6] Soares, Flávio José Aguiar - **Projeto e Implementação de uma Plataforma de Testes Aplicada ao Desenvolvimento de Veículos Submarinos não Tripulados**.
- [7] Whitcomb, Louis L. (2000) - **Underwater Robotics: Out of the Research Laboratory and Into the Field** - Department of Mechanical Engineering, Johns Hopkins University - International Conference on Robotics and Automation IEEE 2000.
- [8] **Outros Sistemas e Técnicas modernas de navegação** - Disponível em: (<http://www.mar.mil.br/~dhn/dhn.htm>), acessado em (12/12/2006)
- [9] **Remotely Operated Vehicle Committee of The Marine Technology Society** - Disponível em: (<http://www.rov.org>) - acessado em 18/02/2007.
- [10] **The Society of Naval Architects and Marine Engineers** - Disponível em: (<http://www.sname.org/>) - acessado em 18/02/2007.
- [11] **Sub Find** - Disponível em: (<http://www.sub-find.com/panther.htm>) - Acessado em 10/12/2007.
- [12] **Norsk Elektro Optik AS** - Disponível em: (<http://www.neo.no/research/pipeline/xplisit.html>) - Acessado em 04/01/2007
- [13] Kongsberg Gruppen Corporation - Disponível em: (<http://www.kongsberg.com>), acessado em 20/12/2006.