



INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO SUBMERSA REMOTA

FOTO: ©Fraunhofer IOSB-AST

Capitão de Corveta (EN) **GISELE BUASZCZYK**

Encarregada da Divisão de Materiais – DEN
Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFRJ

Capitão de Fragata (EN) **ANDRÉ RICARDO MENDONÇA PINHEIRO**

Chefe do Departamento de Sistemas de Casco – DEN
Mestre em Engenharia Naval pela Universidade de Michigan

INTRODUÇÃO

Na indústria naval, a realização de limpeza de bioincrustações, inspeções de pintura e inspeções estruturais para medição da espessura de chapeamento e detecção de corrosão ou defeitos nas obras vivas de embarcações é imprescindível para a garantia da segurança da operação. Tradicionalmente efetuadas por ocasião das docagens ou por mergulhadores, essas atividades limitam a disponibilidade operativa dos meios e requerem infraestrutura, por vezes, indisponível. Os desenvolvimentos de ferramentas de inspeção submersa remota, a exemplo dos Veículos de Operação Remota (ROV da sigla em inglês *Remotely Operated Vehicle*), apresentam-se como opção que permite o prolongamento dos períodos de docagem, com ganhos econômicos e aumento do tempo em serviço das embarcações. Tal tecnologia já é utilizada por Marinhas estrangeiras há mais de três décadas¹ e apresenta diversos projetos realiza-

dos no Brasil com funcionalidades diversificadas². A seguir, são apresentados desenvolvimentos realizados no exterior e no país para aplicações em inspeções de pintura, limpeza de bioincrustações, inspeções estruturais submersas, experiências de outras Marinhas e as vantagens da introdução desse recurso na Marinha do Brasil.

INSPEÇÃO SUBMERSA POR VEÍCULOS DE OPERAÇÃO REMOTA (ROVS)

Conceito

Um ROV é um submersível controlado remotamente, normalmente, por meio de um cabo umbilical, e equipado com recursos relacionados a suas capacidades de inspeção/manutenção e transmissão de dados à superfície em tempo real ou armazenamento³.

De especial interesse à indústria naval, destaca-se o ROV híbrido (HROV), que realiza tanto navegação livre quanto rastreamento. Quando é lançado no mar, o veículo navega para se aproximar da estrutura submersa a ser inspecionada. O HROV atraca automaticamente e, a partir daí, entra em modo de rastreamento com a direção remota de um operador³.

A utilização de ROVs está, cada vez mais, ocupando espaço na inspeção de pintura, inspeção estrutural e limpeza de cascos submersa, que passaram a ser realizadas com maior segurança, permitindo evitar ou planejar a docagem dos meios navais. Neste contexto, tecnologias diversas estão disponíveis no exterior conforme detalhadas na sequência.

TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS NO EXTERIOR

Remoção da bioincrustação por HROV

A formação de biofilmes severos no casco de embarcações, além de danificar o esquema de pintura gerando regiões para a ocorrência da corrosão, pode afetar a dinâmica do navio, aumentando o arrasto e a propulsão necessária. Se, por um lado, a limpeza dos organismos permite a preservação do esquema de pintura, é possível que um procedimento inadequado remova o biocida (responsável pela eliminação dos organismos incrustantes da superfície submersa presente nas tintas anti-incrustantes de autopolimento), com o consequente comprometimento e ineficácia deste⁴.

Quando as técnicas sem contato de limpeza submersa são usadas para remover a bioincrustação, o dano ao revestimento pode ser mais bem reduzido em comparação com escovas rotativas⁴. Dessa forma, especial atenção será direcionada aos HROVs de tecnologia internacional, que atuam por métodos sem contato: jato de água de alta pressão, jato de água de cavitação, limpeza ultrassônica e limpeza a laser.

No método de limpeza com água de alta pressão, o HROV utiliza água local que é pulverizada no casco. A remoção da bioincrustação depende da força de impacto, pressões de água entre 50 e 1.000 bar são documentadas com diferentes aberturas de jato e ângulos de ataque disponíveis. A eficiência da limpeza dessas ferramentas pode variar de 100 a 1.500 m²/h⁴. O acesso a locais estreitos não se apresenta como um obstáculo, havendo opções de HROVs que acessam regiões de dimensões mínimas de 300 mm⁵.

A tecnologia de jato de água de cavitação é uma versão aprimorada da citada anteriormente, utilizando bicos especialmente projetados, que convertem água de alta pressão em água de cavitação. As bolhas originadas das diferenças de pressão se rompem à medida que se aproximam da superfície, resultando em pressões locais muito altas, otimizando o

poder de limpeza. Esse recurso é uma vantagem significativa dos jatos de água convencionais de alta pressão operando na mesma pressão⁴. A figura a seguir⁶ mostra a eficácia de HROV com jato de água de cavitação, mesmo em superfície com nível de incrustação inicial severo.



Limpeza submersa por ROV pelo método de jato de água de cavitação⁶

FOTO: Lance Cpl. Dana Beesley

A aplicação da tecnologia ultrassônica para limpeza subaquática de navios se baseia na geração simultânea de pulsos de energia de ultrassom em uma pluralidade de faixas de frequência. Essa energia produz um padrão de alternância de pressões positivas e negativas, e a formação e implosão de bolhas. A energia destrutiva da implosão fornece um efeito de limpeza no casco, com eficiência semelhante à de jato de água de cavitação⁴.

A tecnologia de limpeza a laser utiliza a varredura de radiação a laser. Possui vantagens de capacidade de limpeza de superfície mais rápida, processamento seletivo preciso e melhor controle do processo de limpeza em relação aos métodos de escova rotativa e limpeza com água de alta pressão⁴.

Estão disponíveis, no exterior, HROVs com funcionalidade combinada, que, além de efetuar a limpeza, coletam simultaneamente a bioincrustação removida do navio. Posteriormente, os organismos marinhos podem ser adequadamente descartados e identificados, evitando-se a dispersão entre ecossistemas distintos e o descarte de cobre – íon tóxico à flora e fauna, frequentemente presente na tinta antiincrustante⁷.

Inspeção de pintura por HROV

Para o monitoramento do desempenho de tintas anti-incrustantes e de falhas na pintura, são dotados de câmeras, iluminação específica para águas de elevada turbidez e, menos frequentemente, medidores de espessura de película de tinta seca e dispositivos de construção de imagens por emissão e detecção de ondas sonoras⁴. Por meio da identificação

da extensão do recobrimento de bioincrustação do casco e identificação das espécies, permitem subsidiar decisões de limpeza. Mais além, detecção dos locais onde houve a remoção ou redução da espessura de tinta permite a avaliação da necessidade de retoque de pintura.

A aquisição de leituras de espessura de película de tinta seca por meio de HROV em embarcações metálicas, em geral, é feita de modo discreto por meio de sonda impermeabilizada que opera segundo o processo de indução magnética. A sonda deve estar em contato com a superfície; portanto, incrustações marinhas severas necessitam ser removidas previamente, a fim de se evitar que sejam interpretadas erroneamente como aumento na espessura da tinta. Os limos de biofilme típicos presentes em todas as superfícies subaquáticas não interferem na leitura da espessura⁴.

Alguns HROV disponibilizam identificação da localização automática, o que permite repetir as leituras em posições previamente inspecionadas. Segundo o “Steel Structures Painting Council” para superfícies de aço imersas em água do mar, a aquisição de 30 leituras por mil pés quadrados de superfície uniformemente distribuídas é recomendada, e permitiria quantificar a taxa de desgaste da pintura anti-incrustante e monitorar como o desgaste ocorre ao longo do tempo¹.

Inspeção estrutural por ROVs

Nas inspeções estruturais, as sondas ultrassônicas são os principais recursos utilizados em HROVs para medição das espessuras metálicas e identificação de discontinuidades internas nos materiais como trincas e porosidades. Operam segundo o princípio de transmissão de ondas ultrassônicas no material e captação dos ecos gerados quando estas colidem com limites físicos como a interface metal/ar. A superfície de ensaio deve ser adequada para permitir o acoplamento da sonda ultrassônica⁸.

Permitem maior número de pontos inspecionados e, inclusive, a alteração do conceito de inspeção por amostragem por inspeção por varredura contínua, aumentando a confiabilidade na operação das instalações.

Em situações em que os tradutores de ultrassom convencionais possuem dificuldade de acoplamento, como temperaturas muito baixas, incrustações e superfícies com corrosão severa, opta-se por transdutores eletromagnéticos acústicos (EMAT) que trabalham sem contato na superfície a ser inspecionada. Nesse ensaio, uma corrente alternada alimenta uma bobina de indução, causando oscilações eletromagnéticas que, por sua vez, induzem correntes na superfície do objeto de teste. Estas correntes parasitas perturbam o campo eletromagnético criando as ondas ultrassônicas diretamente na superfície do objeto ensaiado, o que dispensa acoplantes e

permite um afastamento do transdutor da superfície de inspeção⁹. Uma vez que a geração das ondas de ultrassom ocorre na própria superfície metálica, a inclinação do transdutor ou alteração na distância entre a bobina e a superfície não altera o campo acústico, proporcionando maior flexibilidade no deslocamento do HROV.

As técnicas de campo de corrente alternada (ACFM da sigla do inglês *Alternating Current Field Measurement*), tomografia computadorizada e ensaio de correntes parasitas também são utilizadas, mas em menor escala, quando comparadas ao ultrassom e EMAT.

Utilização de ROVs/HROVs em Marinhas de Guerra

Verifica-se vasta disponibilidade de HROVs no mercado internacional com as tecnologias supracitadas, no entanto são ainda escassas as informações das ferramentas escolhidas para manutenção e inspeção de pintura e estrutural documentadas por Marinhas de Guerra, conforme será apresentado a seguir para as Marinhas Americana, Holandesa, Inglesa e Australiana.

Na Marinha Americana, foram realizadas inspeções por meio de HROV em nove porta-aviões da classe Nimitz, a partir de 1995, para obter dados de espessura do esquema de pintura das obras vivas. Um total de 2.500-3.000 pontos foram obtidos de cada casco, por inspeção. Medidas também foram realizadas quando da docagem em avaliações convencionais e apresentaram valores equivalentes, validando a ferramenta submersa utilizada. A partir dos resultados, foi documentado por Dana C. Lynn e Gerard S. Bohlander do Naval Surface Warfare Center¹ o aumento do intervalo entre docagens com tempo de vida da pintura anti-incrustante, postergado até 15 anos de operação.

Utilização mais recente de HROV na Marinha Americana, em 2020, realizou-se inspeção com o objetivo de planejar a próxima docagem do Navio de Teste de Autodefesa – Self Defense Test Ship (SDTS), programada para 2022 (10 anos após sua última docagem). O ROV Lamp Ray, da empresa Seaward, foi o responsável por realizar a limpeza do casco, medição da espessura do chapeamento, espessura da tinta e medição do potencial de proteção catódica. Ben DuBose¹⁰ destacou que a inspeção por HROV permitiu antecipar os custos e tempo de inatividade para reparos de chapeamento e pintura.

Conforme documentado, uma rede de pequenos transdutores foi instalada nas obras vivas e calibrada de acordo com os desenhos do navio. À medida que o HROV se movia ao longo do exterior do casco, um sistema de rastreamento acústico que funciona como um sonar enviava ondas sonoras que ricocheteavam no navio e voltavam para o dispositivo,

rastreando exatamente a localização do HROV. Enquanto isso, também eram registradas espessuras do chapamento, espessuras de tinta e voltagem de proteção catódica. O Lamp Ray, então, enviava as informações a um sistema de coleta de dados por meio de cabos que eram correlacionados com os valores das espessuras iniciais, nas mesmas posições específicas. A varredura gerou 468.000 leituras de espessura de metal, 130.000 leituras de espessura de tinta e 280.000 leituras de tensão do casco¹⁰.

Na Marinha holandesa, o HROV Fleet Cleaner foi utilizado em 2016 para a limpeza de seu maior navio, o HNLMS Karel Doorman. Em virtude das diferenças de carregamento, até 20% das bioincrustações estavam localizadas acima da linha d'água, o que não foi empecilho para a utilização da ferramenta que utilizou método jato de água a alta pressão. Após a limpeza, foi constatado que não houve danos à pintura. O material removido foi capturado pelo ROV e filtrado pelo sistema de suporte, resultando em uma solução de limpeza do casco ecologicamente correta⁷.

O casco do HMS Trincomalee do Museu da Marinha Inglesa¹¹ foi inspecionado por ROV da empresa Tangaroa Consulting Services Ltda. em 2020. O ROV possui capacidade de transmitir em tempo real o aspecto das obras vivas e filmar o casco em detalhes localizando as áreas de danos que foram sinalizadas no passado. Foi possível certificar que, naquele momento, não havia outras áreas de preocupação abaixo da linha d'água.

Na Marinha Australiana, o ROV SRV-8 RJE Oceanobotics foi utilizado recentemente, para inspeção das obras vivas da embarcação HMAS Ballarat (FFH 155) realizada este ano. A inspeção foi conduzida pelo Grupo de Ciência e Tecnologia de Defesa (DSTG) ao longo de um dia, a fim de avaliar a quantidade de bioincrustação marinha no casco do navio¹².

Desenvolvimentos no país

No Brasil, já existem desenvolvimentos nacionais de HROVs e Veículos Submersos Autônomos (AUV da sigla em inglês *Autonomous Underwater Vehicle*) nas áreas de inspeção por imagem e por ultrassom, no entanto a inclusão de ferramentas de limpeza submersa ainda está na fase de pesquisa e teste. Abaixo são apresentados alguns projetos disponíveis com tecnologia nacional:

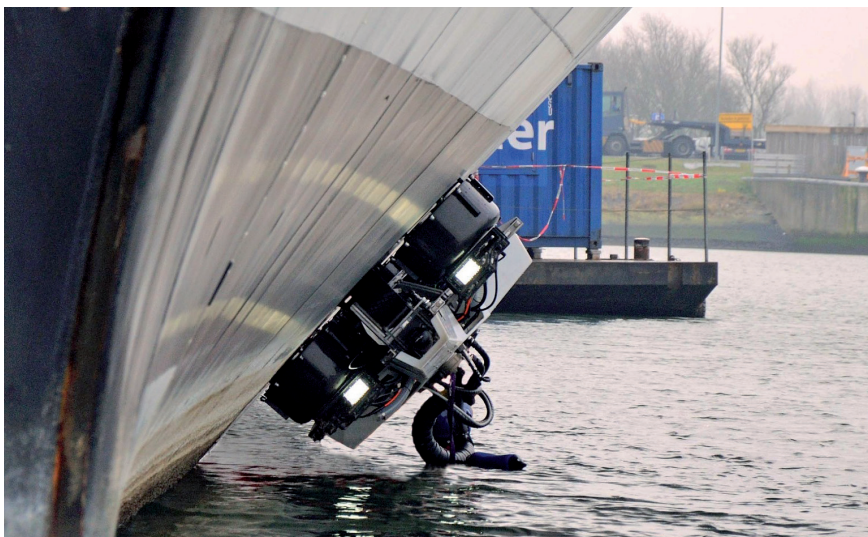


FOTO: Fleet Cleaner

- FlatFish, AUV desenvolvido pela BG Brasil em parceria com o Senai-Cimatec, EmbrapII e ANP e apoio do Instituto Alemão de Robótica e Inteligência Artificial. O veículo é utilizado em inspeção visual de estruturas submersas de exploração de gás e petróleo, tubulações, navios e plataformas. Por não requerer instalação de apoio, o AUV é mais econômico quando comparado ao ROV. Por outro lado, limita-se a uma autonomia de alimentação de energia que é feita por baterias de lítio. Sua utilização diminuiu os riscos à integridade das estruturas devido ao aumento da frequência das inspeções, além de ter proporcionado melhor controle de qualidade²;
- Pirajuba, AUV projetado pelo Laboratório de Veículos Não Tripulados da Universidade de São Paulo e aplicado na coleta de dados para a caracterização de plâncton com autonomia de 10 horas de operação²;
- HROV desenvolvido pela Universidade do ABC, São Paulo, utilizado para análise visual e por ultrassom para a detecção de danos e de espessuras de estruturas submarinas. Ao se aproximar da embarcação, o veículo se posiciona de modo que sua base fique em contato com o casco e, a partir de então, as esteiras motorizadas são acionadas para o deslocamento. Possui estrutura polimérica, câmeras e funciona com energia elétrica provida de uma fonte externa transmitida por meio de um cabo umbilical¹³;
- LUMA, HROV, lançado em 2016, desenvolvido na COPPE-UFRJ para medições em profundidades de até 1 mil metros e adaptado para operação a -20°C para mapear a biodiversidade marinha nas águas profundas da baía do Almirantado, na Ilha Rei George, próxima à península Antártica²;

- HROV desenvolvido recentemente pelo Centro de Pesquisa em Tecnologia de Inspeção da PUC-Rio (CPTI), parte do programa de pesquisa da parceria CETUC-CENPES e as empresas ORTENG AC SERVICE (brasileira) e ECA HYTEC (francesa). É instrumentado com sensores de ultrassom para a medição de espessura de chapas metálicas¹⁴;
- HROV em desenvolvimento pelo Centro de Pesquisa em Tecnologia de Inspeção da PUC-Rio (CPTI) e a empresa REPSOL, ainda em fase de pesquisa e testes. A ferramenta contará com sistema de escovas rotativas para limpeza submersa de bioincrustação, câmeras e dispositivo de ultrassom para inspeções estruturais¹⁴. Segundo a equipe desenvolvedora do CPTI, a facilidade do uso da ferramenta viabilizaria a redução da periodicidade das limpezas submersas podendo ser empregadas então escovas rotativas de nylon, que trazem menos prejuízos às tintas anti-incrustantes, quando comparadas a escovas metálicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A otimização e a combinação de várias tecnologias no sistema de veículos de limpeza subaquática apresentados neste artigo são uma possível direção de pesquisa nacional para a ampliação de recursos desenvolvidos no Brasil. Em especial, os HROV de limpeza de esquemas de pintura anti-incrustante por métodos de jato de água de alta pressão, jato de água de cavitação, limpeza ultrassônica e limpeza a laser.

Verificam-se somente experiências positivas de outras Marinhas na utilização de veículos de inspeção submersa, mas ainda pouco divulgadas, a partir das quais são vislumbradas as seguintes vantagens para a introdução desse recurso na Marinha do Brasil⁸:

- São adequados para todos os tipos de embarcações;
- São seguros, uma vez que não há a necessidade de mergulhadores e a exposição destes a ambientes marinhos eventualmente poluídos;
- Têm maior disponibilidade do serviço, pois evita as condições imprevisíveis de mergulho;
- Minimizam os danos nas tintas anti-incrustantes;
- São ecológicos: a remoção das incrustações reduz o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões, e o recolhimento das incrustações marinhas levam à redução da dispersão de organismos anti-incrustantes entre portos distintos e do descarte do íon cobre presente nas tintas anti-incrustantes – íon tóxico à fauna e flora;
- Geram redução no tempo de inspeção; e
- Permitem evitar ou planejar a docagem.

REFERÊNCIAS:

- 1 LYNN, Dana C.; BOHLANDER, Gerard S. Performing ship hull inspections using a remotely operated vehicle. In: OCEANS, 99, 1999, Seattle. **Conference Proceedings**. Seattle, WA: IEEE, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/OCEANS.1999.804763>. 1999. Acesso em: 3 maio 2021.
- 2 SILVEIRA, Evanildo da. Veículos Subaquáticos. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ed. 224, jun. 2016.
- 3 CAPOCCI, Romano; DOOLY, Gerard; OMERDIĆ, Edin; COLEMAN, Joseph; NEWE, Thomas; TOAL, Daniel. Inspection-class Remotely Operated Vehicles: a review. **Journal of Marine Science and Engineering**, Basiléia, v. 5, n. 13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse5010013>. 2017. Acesso em: 3 maio 2021.
- 4 SONG, Changhui; CUI, Weicheng. Review of underwater ship hull cleaning technologies. **J. Marine Sci**, Oxford, n. 19, p. 415-429, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00157-z>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 5 THORGERSEN, Simen. High pressure cleaning mini ROV. **FFU**, Stavanger, 2020. Disponível em: <https://www.ffu.no/artikkelside/high-pressure-cleaning-mini-rov/>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 6 RESTIVO, Andrew; BRUCE, Michael. Removing Marine Growth Using an ROV with Cavitation Technology. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 2016, Houston. **Papers**. Houston: OTC, 2016.
- 7 FLEET Cleaner completes first ship hull cleaning. **Fleet Cleaner**, Delft, [2016?]. Disponível em: <https://www.fleetcleaner.com/news/fleet-cleaner-completes-first-ship-hull-cleaning/>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 8 HO, Michael; EL-BORGI, Sami; PATIL, Devendra; SONG, Gangbing. Inspection and monitoring systems subsea pipelines: a review paper. **Structural Health Monitoring**, [s.l.], v. 19, n. 2, mar. 2020. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1475921719837718>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 9 IB-NDT ENGENHARIA DE SEGURANÇA ESTRUTURAL. Disponível em: <http://www.ibndt.com/>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- 10 DUBOSE, Ben. U.S. Navy utilizing Remotely Operated Vehicles to check for corrosion. **Materials Performance**, Houston, 2020.
- 11 ROYAL NAVY. The National Museum of the Royal Navy. Hartlepool, [2021]. Disponível em: <https://NatMuseumRN/posts/today-the-national-museum-of-the-royal-navy-hartlepool-had-an-rov-remotely-operated/>. Acesso em: 6 Abril 2021.
- 12 SIMPSON, Sarah. SRV-8 ROV Conducts in-water hull inspection. **Unmanned Systems Technology**, [s.l.], 2021. Disponível em: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2021/03/srv-8-rov-conducts-in-water-hull-inspection/>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 13 ARANTES, José T.UFABC desenvolve robô submarino para inspeção de navios. **Revista Exame**, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/ufabc-desenvolve-robô-submarino-para-inspecao-de-navios/>. Acesso em: 3 maio 2021.
- 14 ROV híbrido. **Centro de Pesquisa em tecnologia de Inspeção**, Rio de Janeiro, [201-?]. Disponível em: <http://www.cpti.cetuc.puc-rio.br/projetos/p/19/>. Acesso em: 7 maio 2021.



Inspeção com mini ROV
FOTO: www.subsea-tech.com