

Plano Setorial para os  
Recursos do Mar

**GRUPO DE TRABALHO  
CORAL SOL**  
RELATÓRIO FINAL

Brasília,  
2017

Plano Setorial para os  
Recursos do Mar

**GRUPO DE TRABALHO  
CORAL-SOL**  
RELATÓRIO FINAL

Brasília,  
2017

## **REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**

### **Presidente da República**

Michel Temer

### **Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**

#### **Ministro da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações**

Gilberto Kassab

#### **Secretário-Executivo**

Elton Zacarias Santa-Fé

#### **Secretária de Radiodifusão – SERAD**

Vanda Bonna Nogueira

#### **Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – SETEC**

Álvaro Toubes Prata

#### **Secretário de Telecomunicações – SETEL**

André Borges

#### **Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED**

Jailson Bittencourt de Andrade

#### **Secretário de Políticas de Informática – SEPIN**

Thiago Camargo Lopes

### **Ministério da Defesa**

Raul Jungmann

### **Ministério de Minas e Energia**

Fernando Coelho Filho

### **Ministério do Meio Ambiente**

Sarney Filho

### **Ministério dos Transportes**

Maurício Quintella





## APRESENTAÇÃO

O Grupo de Trabalho “Coral-Sol” foi criado no âmbito da Subcomissão para o Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM) por recomendação advinda das discussões havidas no Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI Gerco), ambos pertencentes à estrutura da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar.

A motivação inicial para tal movimento se deu pela atuação coordenada e estratégica dos atores de Governo no sentido de explorar as possibilidades existentes para a gestão da bioinvasão de duas espécies de Coral-Sol com ocorrência no Brasil.

A coordenação desse Grupo de Trabalho foi assumida pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) considerando que os resultados das pesquisas globais do assunto seriam centrais na busca de soluções adequadas da gestão dessa problemática. Além do MCTIC, manifestaram interesse em compor o Grupo de Trabalho representantes da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq); da Confederação Nacional da Indústria (CNI); da Comunidade Científica; do Estado-Maior da Armada (EMA/MB); do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio); da Petrobras; da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm); além dos Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); de Minas e Energia (MME); do Meio Ambiente (MMA) e do Ministério Público Federal (MPF).

O propósito desse Grupo é fornecer subsídios para o processo de elaboração do “Plano de controle e monitoramento da bioinvasão do coral-sol”, ora em curso no âmbito do Ministério do Meio Ambiente, levando em conta (i) as contribuições científicas sobre aspectos de monitoramento e manejo de coral-sol; (ii) os aspectos técnicos, operacionais e logísticos dos setores que atuam no ambiente marinho envolvidos com o tema “coral-sol”, entre os quais se destacam os setores portuário, de transporte, de construção naval *offshore*, petróleo e gás e mineração; (iii) as tecnologias de controle, remoção e prevenção de macroincrustação existentes e em desenvolvimento, com base nos melhores conhecimentos científicos, ambientalmente adequadas e exequíveis; e (iv) as melhores práticas e regulamentações relacionadas à bioinvasão marinha no contexto internacional.

Após um ciclo de debates abertos, da organização de um evento científico internacional e de uma série de reuniões, foi possível se chegar aos resultados apresentados neste relatório técnico que servirá de base para as discussões do MMA quando da elaboração de seu Plano de Ação para controle e monitoramento do Coral-Sol.

O resultado mais importante, no entanto, não foi somente este relatório ou a organização do evento científico, mas sim o compromisso de todos os envolvidos no Grupo, pelo que muito agradecemos. Desde a divisão dos capítulos até a elaboração das recomendações ao final do documento levou todos os integrantes a um intenso debate que possibilitou agregarmos as tão diversas visões sobre o mesmo assunto de forma nem sempre harmônica, mas com profundo comprometimento de todas as partes interessadas na busca de soluções adequadas e possíveis a este problema nacional.

Claramente que os desafios são grandes, da dimensão que o problema se tornou para a costa brasileira, mas demos um passo importante na consonância de informações técnicas e o pensar coletivo, que engrandeceu o conhecimento que temos hoje de forma integrada e holística.

Agradecemos acima de tudo o apoio irrestrito da Secretaria da CIRM que nos proveu com ambiente adequado para os debates e esteve sempre à disposição deste Grupo.

Finalizo deixando um muito obrigado aos colegas que tanto me ensinaram sobre gestão pública no enfrentamento de problemas nacionais de grande vulto.

**Andrei Polejack**  
Coordenador do Grupo de Trabalho Coral-Sol  
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC

## RECOMENDAÇÕES

CONSIDERANDO os levantamentos feitos pelo Grupo de Trabalho “Coral-Sol” e apresentados neste documento;

CONSIDERANDO ser objeto do presente estudo o fornecimento de subsídios para o “Plano de controle e monitoramento da bioinvasão do coral-sol – Plano Coral-sol”, em elaboração pelo Ministério do Meio Ambiente;

CONSIDERANDO as informações técnico-científicas a que o GT teve acesso, bem como as melhores práticas e recomendações internacionais e os desafios de ordem prática enfrentados pelos diversos segmentos que atuam no ambiente marinho no Brasil;

CONSIDERANDO a premissa constitucional de proteger e gerir de forma sustentável o ambiente marinho;

CONSIDERANDO os possíveis impactos operacionais e financeiros que eventuais exigências teriam nas indústrias afetadas pelo coral-sol, principalmente os setores de petróleo e gás, construção naval, portuário e transporte aquaviário;

CONSIDERANDO o possível risco que representa a invasão do coral-sol, apesar das incertezas sobre a amplitude dos impactos no Brasil;

### O Grupo de Trabalho “Coral-Sol” recomenda:

1. Que sejam observados os objetivos do Plano de Ação Nacional para Conservação de Ambientes Coralíneos, as diretrizes da Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras da CONABIO, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, as diretrizes da Organização Marítima Internacional – IMO, a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB e a Comissão Oceanográfica Intergovernamental – COI\UNESCO;
2. Considerar experiências internacionais de prevenção, manejo (tentativas de erradicação/ controle) e monitoramento de invasões biológicas por bioincrustação em ambiente marinho;
3. Garantir a exequibilidade e eficácia das estratégias e ações propostas quando da implementação das medidas que possam gerar mudanças no ordenamento das atividades dos setores produtivos no ambiente marinho, contemplando:
  - a. prazos factíveis para a adaptação do setor observada a urgência na tomada de decisão;
  - b. as limitações e peculiaridades logísticas e operacionais;
  - c. a segurança operacional;
  - d. a segurança ambiental;
  - e. a salvaguarda da vida humana;
  - f. a viabilidade técnico-econômica;
  - g. o custo-efetividade; e
  - h. a reavaliação e análise crítica periódica de resultados.
4. Assegurar o estabelecimento de medidas equitativas, que não prejudiquem uma empresa ou setor produtivo específico, respeitando a isonomia entre os administrados;
5. Considerar as limitações de tecnologias para a remoção da bioincrustação e a necessidade de capacitação nacional;
6. Definir áreas ao longo da costa brasileira para atividades de manutenção de embarcações/ instalações/equipamentos incrustados por coral-sol;
7. Buscar estratégias de controle diferenciadas para substratos naturais em comparação a estruturas e substratos artificiais, considerando os objetivos diferentes para cada caso;
8. Buscar estratégias de controle e prevenção, custo-efetivas, baseadas no melhor conhecimento científico disponível e diferenciadas considerando o estágio em que se encontra a invasão em cada região, privilegiando ações de:

- a. Prevenção em áreas não invadidas;
  - b. Ações imediatas em áreas de invasão recente;
  - c. Ações sistemáticas em áreas de invasão consolidada; e
  - d. Monitoramento sistemático da dispersão de colônias e da eficácia das ações de prevenção e controle.
9. Promover integração regional das diferentes iniciativas de pesquisa, monitoramento, prevenção e controle do coral-sol;
10. Fomentar a pesquisa e desenvolvimento, considerando as diferentes visões científicas, focando nas lacunas de conhecimento sobre o coral-sol, entre os quais destacam-se:
- a. Biologia das espécies, em especial genótipos e fenótipos; fisiologia; mecanismos de dispersão, seja natural ou por estresse; reprodução e crescimento; adaptação competitiva; predação; entre outros;
  - b. Interações ecológicas;
  - c. Genética das populações;
  - d. Vetores de dispersão naturais (correntes e *stepping stones*) ou antrópicos (bioincrustação, água de lastro, etc.);
  - e. Distribuição geográfica no País, em substratos naturais e artificiais;
  - f. Histórico de dispersão geográfica e registros das espécies;
  - g. Tecnologias e ferramentas de prevenção, controle e eliminação custo-efetivas em substratos naturais e artificiais;
  - h. Possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos; e
  - i. Unificação das bases de dados de ocorrência, controle e monitoramento.

# **CAPÍTULO 1**

CONTRIBUIÇÕES  
CIENTÍFICAS SOBRE  
MONITORAMENTO  
E CONTROLE DO  
CORAL-SOL

## 1. OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo geral agregar informações da literatura técnico-científica nacional e internacional para subsidiar o processo de elaboração do Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento das espécies de coral-sol, a cargo do Ministério do Meio Ambiente (MMA), contribuindo com os principais resultados científicos disponíveis. Assim, serão abordados neste capítulo um panorama geral sobre bioinvasão e impacto das espécies exóticas invasoras; distribuição, biologia e ecologia do coral-sol; impactos à invasão de *Tubastraea* spp.; levantamento bibliográfico; aspectos sobre o controle e erradicação; principais experiências nacionais e internacionais; e as lacunas do conhecimento sobre o assunto em questão.

## 2. BIOINVASÃO

Em geral, os termos espécie introduzida, espécie exótica, espécie não nativa, espécie alóctone e variantes podem ser considerados sinônimos, apesar dos diferentes conceitos e formas de interpretação, por vezes problemáticos, confusos ou mesmo ineficientes em sua utilização (Blackburn et al., 2011), especialmente em algumas situações práticas (Vitule, 2009). Os termos citados denotam, de forma generalizada e simplificada: “toda e qualquer espécie transportada pelo ser humano e solta, intencional ou acidentalmente, fora de sua área de distribuição ou ocorrência natural” (FAO, 2006). Entretanto, uma definição mais acurada e prática, notoriamente do ponto de vista conservacionista, é: espécie, subespécie ou a menor subdivisão de um táxon identificável (incluindo-se ecótipos e divergências genéticas subpopulacionais) encontrada fora de sua área de distribuição natural e/ou histórica (atual ou precedente) ou de potencial dispersão, *i.e.*, fora da área que ocupa naturalmente ou que poderia ocupar sem a interferência humana; incluindo-se qualquer parte, gameta ou propágulo da espécie que possa sobreviver e posteriormente se multiplicar e manter uma população viável durante um período mensurável (IUCN, 2006; Vitule & Prodocimo, 2012).

Espécies exóticas invasoras podem causar prejuízos não só ao ambiente natural, mas também à economia e à saúde, podendo provocar impactos sociais e culturais. A bioinvasão pode ser conceituada como processo de ocupação de ambiente natural por espécie exótica, provocando impactos ambientais negativos, como alteração no meio abiótico, competição, hibridação, deslocamento de espécies nativas, entre outros (Carlton, 1996; Williamson, 1996; Richardson et al., 2000; Colautti & Macisaac, 2004). Ademais, é fundamental destacar que um organismo introduzido é considerado invasor somente quando se estabelece em um ecossistema ou *habitat* natural ou seminatural, sendo um agente modificador negativo, ameaçando a biodiversidade e/ou os processos e serviços ecossistêmicos naturais (baseado em IUCN, 2006; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

De acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB, “espécie exótica” é toda espécie que se encontra fora de sua área de distribuição natural. “Espécie exótica invasora”, por sua vez, é definida como aquela espécie exótica cuja introdução e dispersão ameaça a biodiversidade, incluindo ecossistemas, *habitats*, comunidades e populações. Essas espécies, por suas vantagens competitivas e favorecidas pela ausência de inimigos naturais, ameaçam a permanência das espécies nativas, notadamente em ambientes frágeis e/ou degradados. Já a Resolução CONABIO n° 05/2009, que dispõe sobre a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, define uma espécie exótica ou alóctone como “espécie ou táxon inferior e híbrido interespecífico introduzido fora de sua distribuição natural, passada ou presente, incluindo indivíduos em qualquer fase de desenvolvimento ou parte destes que possa levar à reprodução”. Espécie Exótica Invasora ou Alóctone Invasora, por sua vez, é aquela espécie

exótica ou alóctone cuja introdução, reintrodução ou dispersão representa risco ou impacta negativamente a sociedade, a economia ou o ambiente (ecossistemas, *habitats*, espécies ou populações). As invasões podem ocorrer acidentalmente em cargas, água de lastro de navios, bioincrustação ou mesmo em vestimentas e calçados, ou propositadamente para fins econômicos ou ornamentais (Heywood, 1996; Lockwood et al., 2007; Pimentel 2011).

Blackburn e colaboradores propuseram um modelo conceitual para explicar, de forma clara e unificada (para animais e plantas em qualquer tipo de ecossistemas), o processo de invasão biológica, tentando também integrar e padronizar a nomenclatura e os termos na área. Nesse modelo, para uma espécie ser considerada invasora, ela deve obrigatoriamente passar por quatro estágios fundamentais: transporte, introdução, estabelecimento, dispersão e/ou expansão populacional. Em cada um dos estágios, as populações e/ou espécies precisam ultrapassar barreiras ou filtros ambientais, naturais ou artificiais (ex.: dispersão, barreiras geográficas, mecanismos artificiais de contenção, cativeiro ou cultivo, sobrevivência, reprodução e condições bióticas ou abióticas ambientais) para que o processo de invasão se complete. Se alguma dessas barreiras for eficiente para impedir que a espécie sobreviva, reproduza-se ou consiga se dispersar, o processo de invasão é interrompido (Blackburn et al., 2011).

É preciso ressaltar que nem toda espécie exótica é invasora. Para uma espécie exótica tornar-se invasora ela precisa passar por todas as etapas do processo de invasão (transporte, introdução, estabelecimento e dispersão) e causar danos (Carlton, 1996; Williamson, 1996; Richardson et al., 2000; Colautti & Macisaac, 2004). Entre diversas outras características, as espécies com maior sucesso competitivo do que as espécies nativas, especialmente com relação à alimentação e ocupação de ambientes, têm maior probabilidade de se tornarem invasoras (Carlton, 1996; Reichard & Hamilton, 1997; Nentwing, 2007; Valéry et al., 2008). Entre os vários impactos decorrentes das bioinvasões, estão: a redução da diversidade de espécies (Lodge, 1993), a geração de híbridos e substituição de espécies nativas (Crooks, 1998; Huxel, 1999), a alteração de *habitat* (Crooks, 1998; Castilla et al., 2004), a competição, a predação, o parasitismo e as consequentes alterações na cadeia alimentar e no ciclo de nutrientes (Vitousek, 1990).

### **3. BIOINVASÃO MARINHA E IMPACTO DAS ESPÉCIES EXÓTICAS INVASORAS**

No ambiente marinho, as principais vias de introdução de espécies exóticas são a navegação, a pesca e a aquicultura. Entre as atividades ou estruturas que podem atuar como vetores de introdução estão: navios, plataformas, diques secos, boias de navegação e flutuantes, aviões anfíbios e hidroaviões, movimentos em canais, detritos flutuantes e equipamentos de recreação, lançamento acidental pela maricultura e lançamento deliberado por aquaristas. Os organismos ou propágulos podem ser transportados em água e/ou sedimentos em tanques de lastro ou por bioincrustação (Carlton, 2001; Souza & Silva, 2004; Sapota, 2004; Christmas et al., 2001).

O aumento do tráfego marítimo, que responde hoje por cerca de 80% do comércio mundial, e o uso de cargueiros cada vez maiores e eficientes têm feito da água de lastro e da bioincrustação mecanismos muito eficientes na dispersão de organismos marinhos e de água doce, intensificando a homogeneização da flora e da fauna em todo o mundo, podendo acarretar sérios prejuízos aos biomas, à biodiversidade e à saúde humana (Bright, 1999; Shrader-Frchette, 2001). No Brasil, são transportados, por via marítima, aproximadamente 95% de todo o comércio exterior. Ademais, os navios modernos transportam aproximadamente 150.000 toneladas de água de lastro em seus tanques,

fazendo com que esta seja atualmente um dos importantes mecanismos para introdução de espécies exóticas (Santos & Lamonica, 2008).

Para organismos marinhos sésseis, qualquer substrato é um *habitat* em potencial, e substratos artificiais representam um ambiente modificado que pode ser considerado um *habitat* estranho tanto para bioinvasores como para organismos nativos (Tyrrell & Byers, 2007). Substratos artificiais podem abrigar comunidades diferentes aos substratos naturais próximos. Ademais, os bioinvasores devem ser mais abundantes em substratos artificiais do que em naturais, pois as espécies nativas selecionam preferencialmente substratos locais naturais (Bulleri & Chapman, 2004; Tyrrell & Byers, 2007).

Processos ecológicos como competição, parasitismo e predação têm o potencial de regular populações, conseqüentemente, influenciando no funcionamento de um ecossistema saudável através de partição de recursos e perda de espécies (Begon et al., 2009). A adição de espécies em cadeias tróficas, principalmente de espécies exóticas invasoras, podem alterar esses processos ecológicos, que, por sua vez, pode provocar efeitos em cascata, sendo atualmente uma das maiores ameaças à biodiversidade marinha. Os maiores impactos das espécies exóticas sobre as espécies nativas são a alteração de *habitats*, predação, deslocamento de espécies nativas, alteração na cadeia trófica e ciclagem de nutrientes, parasitismo, competição e aumento da capacidade de sobrevivência de novas espécies invasoras (Crooks, 2002). Entretanto, Mooney & Cleland (2001) salientam que poucos casos de extinção estão associados com interações competitivas, podendo indicar que a extinção por competição seria um processo mais lento do que por predação.

No âmbito econômico e social, o impacto causado pelas espécies exóticas invasoras sobre as nativas pode causar problemas na saúde pública e na perda da produção de atividades baseadas nos ambientes e nos seus recursos, como a pesca, aquicultura, turismo e infraestrutura. O reflexo social é visto na perda de emprego e do bem-estar das populações pela redução da qualidade do seu ambiente natural (Bax et al., 2003). Além disso, os custos relativos às ações de controle das espécies exóticas invasoras também são somados aos impactos econômicos das invasões biológicas (Pimentel et al., 2001). Um exemplo do reflexo econômico e social é o caso da introdução do ctenóforo *Mnemiopsis leidyi* no Mar Negro (Bax et al., 2003) no início de 1980, que causou reflexos na pesca da região. Entretanto, de acordo com Gucu (2002) e Llope et al. (2011), o colapso da pesca no Mar Negro deveu-se à eutrofização e sobre-exploração dos recursos pesqueiros, anteriormente à chegada do referido ctenóforo na região. Isto pode ter propiciado o incremento da invasão, em virtude das mudanças na abundância das populações de fito e zooplâncton e da deterioração das condições ambientais do local, entre outros fatores, amplificando o declínio da pesca no Mar Negro.

Junqueira e colaboradores (2009) realizaram um levantamento sobre o número de publicações de pesquisadores brasileiros relacionadas ao tema bioinvasão marinha de 1980 a 2007. Até o início da década de 1980, apenas três publicações com menção a espécies exóticas foram descritas. A partir de 1980, prevaleceram as publicações que registram a ocorrência de espécies exóticas na costa brasileira. Entretanto, a partir de 2000, observou-se um aumento na variedade de temas estudados, destacando-se publicações relativas a vetores de introdução e autoecologia de espécies exóticas. Alguns desses trabalhos sobre vetores, como Silva et al. (2004) e Ferreira et al. (2006), ressaltam a importância, principalmente, da água de lastro e da bioincrustação como vetores potenciais de introdução. As publicações sobre autoecologia, como as de Creed & Paula (2007) e Neves et al. (2007), relacionam, entre outros aspectos, a interação das espécies exóticas com o ambiente.

Contudo, cabe destacar que há diferentes linhas de pensamento sobre os impactos da introdução de espécies exóticas. Alguns autores ponderam que os impactos têm sido

estimados e que espécies invasoras são uma realidade histórica e não recente (Chapman, 2016; Davis et al., 2011; Briggs, 2007, 2014; Sax et al., 2007).

## 4. CORAL-SOL

### 4.1 CORAL-SOL - BIOLOGIA

Corais do gênero *Tubastraea* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia e Dendrophylliidae) são azooxantelados que crescem em águas rasas, em recifes de coral e costões rochosos tropicais (Cairns, 2000). Nativos dos oceanos Pacífico e Índico, hoje algumas espécies são consideradas cosmopolitas, sendo amplamente distribuídas em águas tropicais do Atlântico, Pacífico e Índico. O gênero *Tubastraea* é conhecido popularmente por coral-sol (*sun coral*, *cup coral*, *sun polyps*) sendo que duas espécies são registradas no litoral brasileiro: a *T. coccinea* (de cor vermelho-alaranjada) e a *T. tagusensis* (de cor amarela) (Oigman-Pszscol et al., 2017).

Em relação à reprodução, as duas espécies são hermafroditas simultâneas e incubadoras, ou seja, podem se reproduzir por larvas de forma assexuada ou sexuada, possuem alta produção de larvas no seu ciclo de vida e uma idade reprodutiva precoce, além de altas taxas de crescimento (Glynn et al., 2008), características biológicas que potencializam essas espécies como bioinvasoras. As colônias de *T. coccinea* podem liberar de 80 a 300 larvas/cm<sup>2</sup> ao ano e possuem habilidade de assentar rapidamente, em até 3 dias, após a liberação. Ademais, o coral possui oócitos e plânulas em vários estágios de desenvolvimento durante quase todos os meses do ano. Os espermatozoides e óvulos da espécie geralmente se encontram no mesmo estágio de desenvolvimento, o que facilita a embriogênese (Glynn et al., 2008). Outra característica dessa espécie é seu assentamento próximo às colônias parentais, justificando a distribuição agregada das colônias (De Paula et al., 2014).

O tempo necessário para que a plânula assente é de aproximadamente um a três dias e, após o assentamento, um novo pólipo completo é formado de três a cinco dias (Glynn et al., 2008) e sua maturidade é alcançada em aproximadamente um ano e meio (Fenner, 2001). Outros mecanismos de propagação foram descritos para *T. coccinea* como o destacamento do pólipo da colônia, com abandono do esqueleto antigo e subsequente fixação no substrato, e síntese de novo esqueleto (Capel et al., 2014). Além disso, *T. coccinea* e *T. tagusensis* também possuem capacidade de se regenerar a partir de fragmentos de esqueleto contendo tecidos (Luz et al., 2016).

Um dos mecanismos utilizados por corais, assim como por *T. coccinea*, para competir por espaço é a extrusão de filamentos mesentéricos capazes de tocar a fauna sésil vizinha (Sammarco, 2015). Esses filamentos possuem altas concentrações de nematocistos, que atacam, digerem e necrosam os tecidos próximos ao outro organismo, assim possível o seu crescimento no novo espaço (Hennessey & Sammarco, 2014).

Os mecanismos naturais de expansão têm sido documentados numa escala local, dentro de baías (Creed, Oliveira & De Paula, 2008) ou áreas limitadas de canais ou ao redor de ilhas (Ferreira, 2003; Mantelatto et al., 2011). O mecanismo reprodutivo descrito por Capel et al. (2014) é denominado "*bail-out*", i.e., o pólipo regride, concentra-se numa massa de tecido e pode ser solto e brotar novamente. Há a destacar que o potencial de advecção das larvas ainda não foi testado, mas a ocorrência de "*spill-out*" (transbordamento) dessas larvas a partir de áreas onde o organismo está plenamente estabelecido é potencialmente grande. O tempo em que esse processo pode se consolidar depende do comportamento das correntes e do período de viabilidade das plânulas de *Tubastraea* (Capel et al., 2014).

Observações acerca da ocorrência vertical de ambas as espécies variam de 1 a 2 metros de profundidade em Ilha Grande, RJ (Creed & De Paula, 2007); 16 metros de profundidade em

Ilhabela, SP (Mizrahi et al., 2014); e a 22 metros de profundidade em Salvador, BA (Sampaio et al., 2012). Em recifes artificiais na Flórida e Texas, EUA, *T. coccinea* foi observada em profundidades de 1 a 37 metros (Fenner & Banks, 2004). Creed et al. (2016) revisam registros máximos de profundidade no mundo. Portanto, há registros de estabelecimento de coral-sol em substratos com variadas inclinações (cavernas e embaixo de rochas) e em grandes profundidades, até 78 metros para *T. tagusensis* (Sammarco et al., 2013); como também em áreas com intensa luminosidade, como zonas submaré em profundidades rasas, inclusive expostos ao ar na maré baixa (Paula & Creed, 2004; Paula & Creed, 2005; Creed, 2006; Ferreira et al., 2008).

Ademais, cnidários produzem metabólitos secundários utilizados na proteção contra predadores e na competição por espaço com outras espécies. Assim, as duas espécies, *T. coccinea* e *T. tagusensis*, produzem substâncias com propriedades anti-incrustantes e anti-predação (Lages et al., 2010; Maia et al., 2014) e substâncias alelopáticas capazes de causar necrose em outras espécies de corais (Lages et al., 2012), o que contribui sobremaneira para seu sucesso competitivo.

Fatores que geralmente limitam a ocorrência de outros organismos no ambiente marinho, como luz, pH, salinidade e oxigênio dissolvido, parecem não apresentarem efeito limitante sobre *T. coccinea* (Carlos Júnior et al., 2015). De fato, é altamente resistente ao estresse ambiental, sendo uma das poucas espécies de coral sobreviventes ao El Niño, em Galápagos, entre 1982 e 1983 (Robinson, 1985). Em Ilha Grande, RJ, o coral-sol é mais abundante em ambientes rasos, sendo eventualmente encontrados expostos ao ar, mostrando-se tolerantes a períodos curtos de dessecação (Paula & Creed, 2005). Entretanto, Batista et al., (2017) verificaram que limite inferior de temperatura para *T. coccinea* é de 12,5°C, mostrando que alterações fisiológicas nesses organismos podem ocorrer de acordo com a alteração dos parâmetros físico-químicos estudados, além disso, foi observado que a expansão do coral-sol em Arraial do Cabo difere do que ocorre na Baía de Ilha Grande. Ademais, são espécies de hábito generalista, colonizando substratos naturais e artificiais, sendo inclusive encontrados em *habitats* tropicais comumente não ocupados por outras espécies de corais (Cairns, 2000; Fenner & Banks, 2004; Sammarco et al., 2004; Vermeij, 2006; Creed & Paula, 2007; Glynn et al., 2008; Mangelli & Creed, 2012; Sammarco, 2013).

Creed e colaboradores (2016) publicaram recentemente um artigo de revisão sobre a bioinvasão do gênero *Tubastraea* pelo mundo, onde são destacados os aspectos históricos da bioinvasão e os principais vetores de introdução. De acordo com os autores, os vetores de introdução das espécies têm se diferenciado durante os anos. No entanto, para se entender melhor a bioinvasão desse gênero, são necessários estudos genéticos da população. Sugere-se comparar geneticamente as populações de *Tubastraea* do Nordeste com as do Sudeste do Atlântico, verificando se essas populações estão relacionadas e se têm a mesma origem de introdução (Creed et al., 2016).

Capel e colaboradores (2016) realizaram estudos genéticos e populacionais de *T. coccinea* e *T. tagusensis* presentes em plataformas de petróleo, monoboias e costões rochosos ao longo da costa brasileira. Os resultados indicam que *T. tagusensis* apresentou populações com baixa diversidade genética, o que poderia ter sido ocasionado por um único foco de introdução e posterior reprodução assexuada. Já as populações de *T. coccinea* se apresentaram mais diversas geneticamente, o que pode significar diferentes focos de introdução. Esses resultados não surpreendem, pois *T. tagusensis* possui distribuição restrita enquanto *T. coccinea* é mais cosmopolita (Capel et al., 2016).

## 4.2 CORAL-SOL - OCORRÊNCIA NO BRASIL

O primeiro registro do gênero *Tubastraea* no Atlântico data de 1943 e o da espécie de *T. coccinea* foi documentado em 1951. Aparentemente, os cascos de navios serviram como vetor para a introdução inicial, com conseqüente aumento da população de *T. coccinea* por todo o Caribe (Cairns, 2000).

A introdução acidental do coral-sol no Brasil se deu nas décadas de 1980 e 1990. Duas espécies são encontradas hoje no País: *Tubastraea coccinea* e *Tubastraea tagusensis*. O gênero foi registrado inicialmente na década de 1980 em plataformas de petróleo na Bacia de Campos, Rio de Janeiro, por (Castro & Pires, 2001), mas sem que se iniciassem estudos e registros sistemáticos. O primeiro registro em substrato estável natural, num costão rochoso, veio a ser reconhecido em 1998, em Arraial do Cabo (Ferreira, 2003), e também por pesquisadores do Museu Nacional do Rio de Janeiro (Castro & Pires, 2001). Assim, o processo de introdução decorreu num intervalo de tempo de cerca de 20 anos, não se podendo precisar quando exatamente ocorreu. Atualmente, há registros de ambas espécies nas costas sudeste e sul em costões rochosos naturais e estruturas artificiais, além de alguns registros na costa nordeste, muitas vezes associados a plataformas de petróleo (Ferreira et al., 2009; Creed et al., 2016).

De acordo com o levantamento realizado por consultoria contratada pelo MMA, há registros de ocorrência do coral-sol na zona costeira dos seguintes estados do Brasil:

- 1) Rio de Janeiro** – Baía de Ilha Grande, Baía de Sepetiba, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Armação dos Búzios e Arquipélago das Cagarras;
- 2) Bahia** – Baía de Todos-os-Santos;
- 3) São Paulo** – Ilhabela, Arquipélago de Alcatrazes e Laje de Santos;
- 4) Espírito Santo** – Vitória e Guarapari;
- 5) Santa Catarina** – Ilha do Arvoredo; e
- 6) Ceará** – Acaraú – nessa localidade o registro se refere à ocorrência de coral-sol em naufrágio, a cerca de 40 km da costa.

O coral-sol também foi registrado nas seguintes Unidades de Conservação (UC) (Gomes, A.N.; Fonseca, A.C.; Leite, K.L. – *Workshop* coral-sol – Brasília – 21 e 22 de novembro de 2016 – Anexo I):

- 1) Rio de Janeiro** – Estação Ecológica de Tamoios, Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Aventureiro, Área de Proteção Ambiental de Tamoios, Parque Estadual da Ilha Grande, Monumento Natural das Ilhas Cagarras, Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo, Área de Proteção Ambiental de Cairuçu e Reserva Ecológica Estadual da Juatinga;
- 2) São Paulo** – Estação Ecológica dos Tupinambás, Área de Proteção Ambiental de Cananeia-Iguapé e Peruíbe, Parque Estadual Marinho da Laje de Santos, Parque Estadual de Ilhabela e Área de Proteção Ambiental do Litoral Norte de São Paulo;
- 3) Bahia** – Área de Proteção Ambiental Baía de Todos-os-Santos, Área de Proteção Ambiental Recife das Pinaúnas e Reserva Extrativista Baía de Iguape;
- 4) Santa Catarina** – Reserva Biológica Marinha do Arvoredo;
- 5) Paraná** – Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba e Parque Nacional Marinho das Ilhas dos Currais.

Ademais, essa espécie invasora já foi registrada no estado de Sergipe, onde estaria associada a plataformas de petróleo nos campos de Camorim e Dourado (Gomes, A.N.; Fonseca, A.C.; Leite, K.L. – *Workshop* coral-sol – Brasília – 21 e 22 de novembro de 2016 – Anexo I).

O coral-sol é observado amplamente distribuído na zona costeira brasileira, ocorrendo tanto em ambientes naturais quanto em artificiais, como píeres, boias e plataformas de petróleo. Essas ocorrências não se dão na mesma magnitude, havendo locais em diferentes estágios de invasão e adaptação.

Modelos feitos por Riul e colaboradores mostram que a possível distribuição futura de *T. coccinea* seria uma expansão contínua desde o limite norte até o limite sul do litoral brasileiro, além da possível ocorrência em algumas ilhas oceânicas e no banco dos Abrolhos. O modelo sugere uma probabilidade menor de ocorrência dessa espécie no litoral do extremo norte do País (Riul et al., 2013).

Alguns autores apontam as plataformas e outras estruturas associadas à exploração de petróleo como principais vetores de introdução dessas espécies (Ferreira et al., 2009; Creed et al., 2016). Contudo, a participação de navios como vetores trazendo essas espécies de corais incrustadas em seus cascos foi admitida pelos pioneiros neste estudo no Brasil (Castro & Pires, 2001; De Paula & Creed, 2004; Ferreira, 2003), além de ser ainda discutida a possibilidade de sua introdução através de água de lastro de navios. Tendo em vista que existem outros vetores potenciais (cascos de navios), bem como outras suspeitas (água de lastro), os esforços de pesquisa podem contribuir para elucidar tais questões.

### 4.3 CORAL-SOL - IMPACTOS

Diversos grupos de pesquisa vêm observando os impactos do coral-sol nas populações e comunidades nativas marinhas do Brasil e de outras regiões afetadas pela bioinvasão desse organismo (Creed, 2006; Sammarco et al., 2010; Lages et al., 2010, 2011, 2012; Sampaio et al., 2012; Miranda et al., 2016).

Estudos mostram que esse bioinvasor tem sido responsável pela modificação das comunidades bentônicas de costões rochosos na região de Ilha Grande, RJ, e em recifes de coral na Bahia, reduzindo a abundância das macroalgas (Lages et al., 2011; Miranda et al., 2016). Entretanto, Lages et al., (2011), observaram um aumento da riqueza da diversidade de espécies onde *Tubastraea* estava presente. Ainda de acordo com os autores, o aumento na diversidade poderá acarretar na diminuição das interações competitivas e consequentemente, na redução da abundância das espécies competidoras (Lages et al., 2001).

Miranda et al. (2016) estudaram recifes onde *Tubastraea* spp. foi identificado há cerca de 4 anos (Sampaio et al., 2012). Nesse trabalho, foi estudada uma área de cerca de 800 m<sup>2</sup> com uma população agregada de coral-sol (*Tubastraea tagusensis*). O estudo apontou diferenças na estrutura da assembleia de corais nativos em áreas invadidas e não invadidas pelo coral-sol. O coral-sol domina as áreas invadidas, em especial nas paredes do recife (zona vertical). Ainda nas paredes do recife, a cobertura dos corais nativos *Mussismilia hispida* e *Madracis decactis* foi significativamente menor nas áreas invadidas do que nas áreas não invadidas. Vale destacar que a espécie *Mussismilia hispida* é endêmica aos corais brasileiros, o que aumenta a preocupação quanto aos impactos do coral-sol sobre a biodiversidade nativa. Deve-se observar, contudo, que não foi demonstrada uma mudança significativa na cobertura da área do topo dos recifes por corais nativos. O estudo aponta também a mortalidade de tecidos dos corais nativos *Siderastrea stellata*, *Mussismilia hispida* e *Madracis decactis* em contato com o invasor. *Montastraea cavernosa*, por sua vez, não foi afetado e, pelo contrário, demonstrou habilidade em atacar o coral invasor (Miranda et al., 2016).

Nas paredes dos recifes as condições ambientais são aquelas mais favoráveis ao gênero *Tubastraea*, superfície vertical e sombreada, (Creed & De Paula, 2007; Ferreira, 2003) onde eles podem enfrentar uma menor competição com corais nativos zooxantelados do que em ambientes com alta radiação solar (topo dos recifes) (Mizrahi et al., 2014). Além desse fator, *Tubastraea* e outras espécies da família do coral-sol (Dendrophylliidae) são descritos como competidores agressivos devido ao uso de tentáculos que frequentemente causam danos ao tecido de corais vizinhos ou impedem o crescimento de ascídias (Creed, 2006; Dos Santos et al., 2013). Além disso, a alta capacidade reprodutiva do coral-sol pode acelerar o deslocamento de espécies nativas que possuem taxa reprodutiva inferior (Glynn et al.,

2008; De Paula et al., 2014). Os fatores que determinam o sucesso competitivo do coral-sol devem ser melhor estudados, a fim de contribuir com subsídios para a definição de ações de mitigação de seus impactos sobre a biodiversidade nativa.

O coral-sol pode também facilitar a invasão de outras espécies exóticas, como descrito por Rosa (2015), onde colônias de *T. coccinea* e *T. tagusensis* serviram de substrato consolidado para duas espécies de bivalves exóticos *Myoforceps aristatus* e *Isognomon bicolor*. Cabe destacar que ambas as espécies são classificadas como invasoras pelo MMA (Lope, 2009).

Dados obtidos por Mantelatto (2012), em sua dissertação de mestrado, indicam que as ocorrências de coral-sol no litoral do estado de São Paulo não provocaram redução na riqueza de espécies, na diversidade e na equitabilidade na presença de várias espécies distintas. O autor, contudo, discute a possibilidade de este ser um evento ainda recente, mas que espera “que ao longo do tempo a densidade e a cobertura relativa desses invasores aumentem na região, diminuindo a biodiversidade e riqueza local, causando maior homogeneidade no ambiente e maiores impactos e alterações nas comunidades” do litoral norte do estado de São Paulo (Mantelatto, 2012). Além disso, o autor destaca que a presença de *T. tagusensis* altera a cobertura relativa dos organismos e a estrutura das comunidades nativas de Ilhabela (Mantelatto, 2012).

Ademais, é importante ressaltar que a presença do coral-sol também pode ter efeito nas interações ecológicas entre as espécies nativas, como relatado por Guimarães (2016) que registrou a presença de micromoluscos (com grande prevalência de juvenis) em colônias de coral-sol (*T. tagusensis*) na Baía de Todos-os-Santos em colônias provenientes de duas estações: naufrágio Cavo Artemidi (13°03'31"S, 38°31'55"W) e Recife de Cascos (13°7'10"S, 38°38'50"W). O trabalho contribui para o reconhecimento da biodiversidade da malacofauna na Baía de Todos-os-Santos, particularmente representada por micromoluscos em evidente ocupação de novo *habitat*, revelando o estabelecimento de relações faunísticas entre o coral-sol e organismos nativos. Já Mizrahi et al. (2016) verificaram a interferência de peixes popularmente conhecidos como “sargentinhos” e “donzelas” em colônias de *T. tagusensis* na Ilha de Búzios (SP). Os autores sugerem que para a desova, esses peixes desalojam colônias de coral-sol abrindo uma “clareira”, que após o nascimento dos peixes pode ser colonizada por outros organismos bentônicos nativos. Além disso, Castello-Branco et al. (2014) verificaram experimentalmente que, quanto maior a densidade de coral-sol, maior a riqueza de espécies de esponjas que se desenvolveram nas unidades experimentais, sendo as mais abundantes as espécies *Mycale microsigmatosa*, *Lotrochota arenosa* e *Mycale americana* e as mais frequentes a *Calcarea sp.*, *Dysidea etheria* e *Mycale microsigmatosa*.

Em trabalho descrito por Creed e colaboradores (2016), a invasão do coral-sol pode acarretar em aspectos negativos no âmbito social e econômico, como a perda da produção de atividades baseadas nos ambientes e nos seus recursos, como a pesca, aquicultura e turismo (Creed et al., 2016). Os impactos causados pela bioinvasão do coral-sol no Brasil merecem ser mais analisados, considerando que, como sugerem Valéry et al. (2008), as consequências de uma bioinvasão tendem a ser mais pronunciadas em comunidades/ecossistemas com menos espécies nativas, devido à correlação estatística existente entre diversidade funcional e riqueza específica (Diaz & Cabido 2001; Hooper et al. 2002).

As perspectivas do impacto a ser causado pelo coral-sol incluem a expansão da área de distribuição em substrato natural em uma velocidade aproximada de 2 km/ano (Silva et al., 2014). A expansão da área de invasão do coral-sol pode ser mediada pelo recrutamento gregário da espécie, por correntes ou até pequenas embarcações sem tratamento e de baixa mobilidade, e colonização de substratos naturais a partir de vetores próximos à costa, incluindo áreas protegidas (Comunicação Pessoal – Adriana Nascimento Gomes, Adriana Carvalhal Fonseca e Kelen Luciana Leite – ICMBio - *Workshop* coral-sol – Brasília – 21 e 22 de

novembro de 2016 – Anexo I). Nesse cenário, sistemas recifais, tais como o Banco de Abrolhos e a Costa dos Corais, tornam-se extremamente vulneráveis, destacando-se a importância de estudos nesses sistemas e em outros sistemas recifais brasileiros.

Contudo, Sammarco et al. (2010) afirmam que não há estudo que confirme que a ampliação da distribuição das populações de *T. coccinea* tenha ocorrido às custas da exclusão de qualquer espécie nativa. Ademais, os autores sugerem a possibilidade de haver nichos disponíveis no ecossistema que *Tubastraea* poderia estar ocupando com eficiência. Já Sammarco et al. (2013) levantaram a questão do dano ou perdas de espécies nativas no Atlântico Ocidental causando a invasão por *T. coccinea*. Segundo os autores, há falta de dados sobre o seu impacto, com exceção de dados de cobertura e potencial monopolização do espaço bentônico. Além disso, ainda não há identificação de impactos do coral-sol nos ambientes naturais no Golfo do México (Comunicação Pessoal P. Sammarco – *Workshop de Controle, Monitoramento e Mitigação da Invasão do coral-sol no Brasil*, 21-22/09/2016, Brasília, DF).

## 5. CONTROLE DO CORAL-SOL

### 5.1 PREVENÇÃO, DETECÇÃO PRECOCE E RESPOSTA RÁPIDA

Os estudos relacionados aos impactos causados por espécies invasoras são poucos, principalmente em países em desenvolvimento e megadiversos, como na América do Sul e no Brasil (Lin et al., 2007; Lövei et al., 2012; Nuñez et al., 2012; Speziale et al., 2012; Vázquez & Aragon, 2002; Vitule et al., 2012).

A pressão de propágulos é algo crucial, ou seja, espécies com maior potencial de reintroduções (mais cultivadas, por exemplo) e/ou com um grande número de indivíduos introduzidos com frequências altas são mais susceptíveis a se tornarem invasoras. De forma similar, locais com maior número de espécies ou taxa introduzidos podem se tornar mais facilmente invadidos por novos taxa (Lockwood, Cassey & Blackburn, 2009; Lockwood, et al., 2007). Dessa forma, existem espécies com um maior potencial de invasão, assim como existem ambientes ou *habitats* mais susceptíveis às invasões (Begon, Townsend & Harper, 2006; Lockwood et al., 2007; Meffe & Carrol, 1994; Townsend, 2003; Thompson & Townsend, 2004; Simberloff & Rejmánek, 2011). Essas afirmações devem ser levadas em consideração em relação à prevenção e resposta rápida do controle do coral-sol.

A atenção com os principais vetores pode ser uma importante medida para se tentar controlar a disseminação do coral-sol pela costa brasileira. Observa-se que sua ocorrência ainda se encontra de modo agrupado, em alguns núcleos que provavelmente relacionam-se com o ponto de introdução a partir de um vetor antropogênico. A aparente relação com portos onde fundeiam-se ou fazem-se a manutenção de plataformas da indústria de petróleo e gás é um indício disso. Ainda não existem dados que comprovem a dispersão por meio de transporte de plânulas para regiões distantes das concentrações atualmente reconhecidas. Portanto, o monitoramento dos vetores em mobilização é uma medida importante. Medidas de gerenciamento de risco devem ser consideradas em relação à entrada de possíveis vetores de dispersão em locais onde ainda não se observa o coral-sol. (Kikuchi, R.K.P.; Comunicação Pessoal).

O monitoramento da água de lastro também é uma medida adicional no controle da disseminação do coral-sol. Apesar de não se ter registro comprovado da ocorrência de plânulas nesse compartimento, a independência de luz e a suspeita de uma plânula permanecer viável por até 100 dias (Richmond comunicação pessoal em Fenner, 2001) indica a necessidade dessa precaução. Por fim, o monitoramento constante de fundos estáveis nas imediações das ocorrências comprovadas do coral-sol é também uma ferramenta importante

para se tentar detectar prematuramente a sua expansão. Esse tipo de medida contribui para um melhor conhecimento dos mecanismos de disseminação desse coral (Kikuchi, R.K.P.; Comunicação Pessoal).

Segundo Oigman-Pszczol e colaboradores (2017), para a adoção de controle da incrustação, condicionantes deverão ser sugeridas quanto à operação e limites de deslocamento para as plataformas, navios e baías de navegação, uma vez que, mesmo com o controle, existirá sempre o risco de propagação da espécie. É essencial que os planos de monitoramento e manejo se mantenham como ações regulares e sem interrupções. Entretanto, é evidente que o manejo pós-fronteira se torna menos efetivo se novas introduções não forem interrompidas (Oigman-Pszczol et al., 2017).

A etapa do diagnóstico do número de espécies introduzidas na costa brasileira e de seus vetores (Fundespa/MMA-Probio, 2005) foi cumprida em 2005, com a conclusão de cinco subprojetos (um deles relacionado ao ambiente marinho) e implementado pela Secretaria de Biodiversidade e Florestas, do Ministério do Meio Ambiente, a partir do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio). Nesse projeto (Fundespa/MMA-Probio, 2005), em paralelo ao diagnóstico das espécies introduzidas, foi realizado um levantamento sobre a estrutura existente para a prevenção e controle das introduções de organismos marinhos no Brasil, onde se chegou à conclusão que tratar de medidas de prevenção e controle da bioinvasão no ambiente marinho é uma questão complexa pelo fato de a maioria dos vetores de introdução de espécies aquáticas estar associada a atividades de grande importância econômica. Portanto, qualquer medida de gestão deve prever avaliações de custo-benefício envolvendo a valoração dos benefícios dessas atividades e dos passivos que estas determinam. Além disso, qualquer medida deve considerar praticidade e probabilidade de êxito, e a duração dessas ações de resposta.

De acordo com as diferentes descrições para o princípio da precaução para espécies introduzidas, como descrito Simberloff (2003, 2007), no qual “as espécies introduzidas devem ser consideradas culpadas até que se prove o contrário”, ou o preâmbulo da Convenção sobre Diversidade Biológica: “observando também que quando exista ameaça de sensível redução ou perda de diversidade biológica, a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar medidas para evitar ou minimizar essa ameaça”; (Convenção sobre Diversidade Biológica – Decreto Legislativo nº 2, de 1994) e a Resolução Conabio nº 05/2009: “A abordagem precautória deveria ser aplicada, também, quando da análise para medidas de erradicação, contenção e controle das espécies exóticas que tenham se estabelecido. A falta de certeza científica a respeito das diversas consequências de uma invasão não deve ser usada como justificativa para adiar ou para não adotar medidas de erradicação, contenção e controle”. Além disso, o Brasil é signatário da Convenção sobre Diversidade Biológica, e, como tal, tem obrigações que devem ser cumpridas, entre elas, seu Artigo 8º (h), que determina que cada parte contratante deve, na medida do possível e conforme o caso, “impedir que se introduzam, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, *habitats* ou espécies”. Apesar da incerteza científica não servir de impedimento para a tomada de decisões, considera-se que os elementos presentes neste capítulo apontam para questões mais concretas na ação de monitoramento e controle.

Ademais, Bonanno (2016) pondera que a remoção de espécie invasora deve ser considerada somente após análises de aspectos econômicos, culturais e pragmáticos, incluindo a identificação dos serviços ecossistêmicos afetados e decorrentes da espécie em questão. O autor esclarece que para ser possível tomar decisões ponderadas, deve ser considerado que mudanças nas comunidades nativas não implicam necessariamente em danos e que os papéis funcionais são mais relevantes que a origem das espécies.

## 5.2 MÉTODOS DE CONTROLE E ERRADICAÇÃO

A escolha de métodos de controle e erradicação se inicia pelo diagnóstico da extensão e condição da área invadida e as espécies nativas ou endêmicas ali presentes, bem como as condições ecológicas presentes, pois ajudam a definir as prioridades para ação e as metas de manejo. Tais metas devem estar voltadas à restauração do ambiente e de sua funcionalidade e resiliência, não simplesmente na retirada das invasoras. Após esse diagnóstico, deve haver a elaboração de planos e o estabelecimento de rotinas de monitoramento do coral-sol, com foco no desenvolvimento de alertas no caso de sua ocorrência.

De acordo com o Plano de Emergência de Controle de Invasores Marinhos da *Commonwealth of Australia* (2015), a erradicação de uma espécie invasora é pouco provável que seja bem-sucedida ou viável se as investigações iniciais mostrarem que a espécie já está amplamente disseminada, seja difícil de detectar, ou está presente ou potencialmente presente em ambientes costeiros abertos. Os estágios planctônicos de dispersão de muitas espécies invasoras marinhas são microscópicos e podem se dispersar rapidamente, em grandes números, a grandes distâncias por correntes de maré e costeiras. Em muitas circunstâncias, isso fará com que a erradicação seja impossível, porque nem todas as fases de vida do organismo invasor podem ser localizadas ou efetivamente contidas.

Apenas algumas estratégias de controle e/ou erradicação do coral-sol estão documentadas. A principal estratégia utilizada atualmente no Brasil se refere ao uso de mergulhadores e pesquisadores munidos de martelos, talhadeiras e sacolas que recolhem as colônias e fazem anotações sobre os diferentes locais em que o coral foi encontrado. Uma das críticas a essa técnica é descrita no trabalho de Coutinho et al., (2013), onde os autores levantam a hipótese dessa técnica provocar a liberação de larvas e fragmentos que poderiam causar maior dispersão do coral-sol. Silva et al. (2014) monitoraram a distribuição geográfica do coral na Baía de Ilha Grande e, apesar da expansão da área ocupada pelo coral-sol, encontraram um caso de diminuição da população na Ilha dos Macacos, onde tem sido implementado um estudo-piloto de controle manual do coral-sol. O monitoramento contínuo, a periodicidade do manejo e a capacitação de profissionais são fundamentais para o controle desses organismos. Por outro lado, o processo não atinge eficácia na remoção de colônias em locais inacessíveis, como fendas nas rochas, requerendo o aprimoramento das técnicas existentes, bem como o desenvolvimento de novas técnicas (*Workshop coral-sol – Brasília – 21 e 22 de novembro de 2016 – Anexo I*).

A morte do coral-sol por redução de salinidade é demonstrada por Moreira et al. (2014). Os autores coletaram colônias das duas espécies de *Tubastraea* e as mergulharam por até duas horas em recipientes com salinidades que variaram de 34 a 0. Retornaram as colônias para a água do mar e monitoraram-nas por 30 dias. As colônias de *Tubastraea tagusensis* que foram mergulhadas em água doce (salinidade 0) estavam mortas após 3 dias. Em nenhum outro tratamento houve mortalidade completa. A mortalidade máxima em *Tubastraea coccinea* foi de 60% das colônias e ocorreu no tratamento com água doce. Assim, há necessidade de aprofundar estudos nesse setor de forma a demonstrar se há aqui uma forma viável e ecologicamente recomendada de controle pela imersão das colônias em água doce.

De acordo com especialistas do ICMBio, a retirada manual do coral-sol tem se mostrado um bom método de controle, como demonstrado em algumas Unidades de Conservação do Brasil. Na Reserva Biológica (Rebio) do Arvoredo (SC), onde está o que hoje acreditamos ser a fronteira sul na distribuição do coral-sol, a invasão é recente e somente poucas colônias de *T. coccinea* foram encontradas, porém, de grande tamanho. Ações de remoção visando à erradicação foram eficazes nesse caso, no qual mais de 3.000 colônias foram retiradas nos últimos anos. No Refúgio de Vida Silvestre (Revis) Alcatrazes e Estação

Ecológica (Esec) Tupinambás (SP), locais nos quais predomina *T. tagusensis*, a retirada manual (aproximadamente 30 mil colônias entre 2014 e 2016) também tem contribuído com o controle. Na Esec Tamoios (RJ), Unidade de Conservação com a maior ocorrência registrada de coral-sol, há predominância de *T. tagusensis*, e o monitoramento realizado entre 2010 e 2015 tem revelado aumento da área ocupada pelas colônias. Nessa área também houve retirada manual do coral-sol, sendo retirados aproximadamente 500 quilos de material, aos quais se somaram mais de 12 mil colônias em uma única ação no ano de 2013, batizada de operação Eclipse. Nesses casos, o ICMBio acredita ser necessário intensificar as ações de remoção manual para evitar o espalhamento para novas áreas e recolonização de áreas de controle (Comunicação Pessoal – Adriana Nascimento Gomes, Adriana Carvalho Fonseca e Kelen Luciana Leite – ICMBio - *Workshop* coral-sol – Brasília – 21 e 22 de novembro de 2016 – Anexo I).

Trabalhos recentes de avaliação da ocorrência do coral-sol reportam expansão em sua ocupação, como, por exemplo, na Baía da Ilha Grande (Da Silva et al., 2014). Recentemente, (Capel et al., 2015; Luz et al., 2016) apresentaram resultados de um experimento no qual 5 entre 7 fragmentos de *T. coccinea*, com tamanhos entre 6 e 10 mm regeneraram-se em apenas 12 dias da fragmentação da colônia, formando novos pólipos. Isso indica que frações muito pequenas de tecido podem dar origem a novas colônias e que a capacidade de sobrevivência do coral é muito mais alta que o esperado. Essa alta capacidade de regeneração das colônias aliada às práticas de controle por remoção manual poderia trazer luz à expansão e consolidação do coral-sol na Baía de Ilha Grande (Ricardo Coutinho, Comunicação Pessoal). Contudo, da Silva et al. (2014) demonstraram que a cobertura de coral-sol na Ilha dos Macacos (Baía de Ilha Grande) diminuiu após manejo manual. Assim, estudos devem ser estimulados quanto ao risco de reintrodução por fragmentos de tecidos ou larvas lançadas durante a prática de remoção manual do coral-sol. As características reprodutivas de alta fecundidade e rápido assentamento são atributos que contribuem para o potencial de colonização e dispersão do coral-sol (Glynn et al., 2008).

Outra estratégia que deve ser estudada é a utilização de espécies competidoras e predatórias ao coral-sol, caso da esponja *Desmapsamma anchorata*, competidor capaz de danificar ou provocar a morte de indivíduos de coral-sol podendo crescer sobre e recobrir a espécie invasora (Meurer et al., 2010). O poliqueta *Hermodice carunculata* (verme de fogo) foi observado predando pólipos de *T. tagusensis* na Baía de Todos-os-Santos, BA. Entretanto, essa espécie é descrita como coralívora facultativa, *i.e.*, tem preferência por outros alimentos podendo alimentar-se ou não de corais (Sampaio et al., 2012). Outro caso relatado é o do gastrópode *Epidendrium billeanum* que foi descrito predando *T. coccinea* na costa do Pacífico, na Nicarágua. Neste estudo, foi identificada perda de tecido do coral e oviposição em seu esqueleto (Rodriguez-Villalobos et al., 2016). São poucos os casos descritos de espécies competidoras e predatórias do coral-sol e a interação do coral-sol, com espécies marinhas nativas do Brasil carece de estudos.

Evidências de que a competição ocorre com outros organismos nativos nas regiões onde foi introduzido são conhecidas (Creed, 2006; Ferreira, Gonçalves & Coutinho, 2004; Lages et al., 2011). No campo das interações interespecíficas que intermedeiam a competição ou a predação, já se verificou que *Tubastraea* possui mecanismos antagonísticos físicos e químicos (Lages et al., 2012; Santos, Ribeiro & Creed, 2013) que podem provocar necrose e deformação em colônias de corais endêmicos como *Mussismilia hispida* (Verrill, 1901) e (Creed, 2006) e do complexo *Siderastrea* spp. (Miranda, Cruz & Barros, 2016). Efeitos deletérios do coral-sol sobre *Mussismilia*, principal construtor do Banco de Abrolhos, causam preocupação já que outras duas espécies de *Mussismilia* encontram-se ameaçadas de extinção (*M. braziliensis* e *M. harttii*) conforme a Lista Nacional Oficial das Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção,

estabelecida pela Portaria MMA nº 445/2014. Por outro lado, um estudo na Baía de Todos-os-Santos mostrou que o coral *Montastraea cavernosa* não é negativamente afetado pelo invasor; ele é capaz de produzir estruturas protetoras chamadas de “sweeper-tentacles” (tentáculos varredores) que, inversamente, provocam dano em *Tubastraea* (Miranda, Cruz & Barros, 2016).

Mizrahi et al. (2014) verificaram que na Ilha de Búzios (litoral norte de São Paulo), nos locais com altas densidades dos corais *Carijoa riisei* e *Astrangia rathbuni*, as colônias adultas de coral-sol eram relativamente raras, sugerindo que a competição entre o coral-sol e essas duas espécies poderia ser um importante fator de limitação da abundância de recrutas e adultos de *Tubastraea* spp. Destaca-se que a espécie de octocoral *Carijoa riisei* é nativa do Indo Pacífico e tem sido reportada como invasora no Hawaii (Concepcion et al., 2010). Os estudos sobre as interações biológicas entre o coral-sol e outras espécies ainda são incipientes, necessitando mais pesquisas no setor.

Outro método para o tratamento e erradicação do coral-sol é o envelopamento, onde o recobrimento de estruturas incrustadas com coral-sol por papel plástico ou folhas de ráfia se mostrou um método efetivo na eliminação dessas espécies. O estudo foi realizado em Ilha Grande, RJ, e o envelopamento se deu por sete dias. Possivelmente os pólipos do coral foram mortos pela falta de oxigênio, falta de acesso à comida e/ou devido ao atrito físico entre os pólipos e papel plástico ou folha de ráfia. A utilização do papel plástico foi mais eficiente que a folha de ráfia no tratamento, apesar de que o manuseio da folha de ráfia em águas profundas ocorreu mais facilmente (Mantelatto et al., 2015). É importante destacar que o experimento foi realizado em escala reduzida, em uma região com pouca energia hidrodinâmica e com colônias transplantadas. Apesar da perda de algumas unidades experimentais, os resultados mostraram que depois de sete dias as colônias estavam mortas. Entretanto, nesse estudo não houve controle de planulação e nem o acompanhamento dos esqueletos para verificar se teria restado algum vestígio de tecido que poderia retomar o brotamento. Há outros relatos da metodologia do envelopamento para o controle de espécies invasoras em locais como píer (Coutts & Forrest, 2007) e embarcações (Floerl et al., 2010).

Os tratamentos de encapsulamento testados por Mantelatto et al. (2015), descritos acima, e que foram testados na Nova Zelândia e nos Estados Unidos da América, foram aplicados em pequena escala. Deveriam ser testados em unidades maiores, mas tem-se o desafio tecnológico do tipo de material e o modo de envolver grandes superfícies e grandes objetos. Também há o problema da impermeabilização submersa do produto vital que se pretende eliminar para matar o coral-sol, seja ele o oxigênio ou nutrientes. Os resultados imediatos são interessantes, mas é necessário ampliar a escala e avaliar outros aspectos, como permanência de tecido, resistência e brotamento posterior a partir de tecido remanescente, planulação e retenção das plânulas pelo material utilizado no invólucro.

Uma área que merece destaque e ainda foi pouco explorada é a utilização da biotecnologia, onde o controle do coral-sol pode ocorrer por inoculação de bactérias e vírus que sejam específicos para as duas espécies de coral-sol encontradas no Brasil, *T. coccinea* e *T. tagusensis*, reduzindo assim as disseminações na costa brasileira (*Workshop coral-sol – Brasília – 21 e 22, novembro, 2016*). Entretanto, esse é um método que demandará tempo para ser colocado em prática, pois as pesquisas se encontram em estágio inicial e até o momento são pouco utilizadas para esse fim. Além disso, estudos dos compostos secundários produzidos pelos microrganismos patogênicos de corais podem colaborar para o controle do coral-sol, uma vez que o composto poderia ser singular a este (Terra, 2016).

Alguns pesquisadores que participaram do *Workshop coral-sol* (Anexo I), que ocorreu em Brasília no período de 21 e 22 de novembro de 2016, recomendam que para o sucesso no controle do coral-sol é necessário focar a erradicação no início da invasão, com ações de

remoção e monitoramento, além da necessária detecção e alerta precoces, com programas de monitoramento e vigilância, com envolvimento do público e ações de educação ambiental. Entretanto, a adoção de medidas de controle deve se basear em referenciais científicos, buscando prever e minimizar eventuais prejuízos ambientais decorrentes do controle.

O investimento em estudos e pesquisas para a compreensão dos processos de invasão e impactos causados pelas espécies invasoras no ambiente marinho é essencial para auxiliar na prevenção e minimizar os custos necessários para erradicação ou controle de uma espécie já estabelecida. Os temas dessas pesquisas devem estar relacionados a aspectos taxonômicos, biogeográficos e biológicos; ao estudo de impactos e dinâmicas do processo de invasão e ao desenvolvimento de métodos de prevenção, detecção e controle. Os programas de apoio às pesquisas científicas devem considerar de maneira equilibrada os diversos biomas e ecossistemas afetados no País e suas especificidades. A zona costeira, em particular, demanda esforços vultosos de investigação, devido aos vários vetores de transporte de espécies exóticas relacionados a esse bioma (Junqueira et al., 2009).

## 6. EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Estudos sobre registros do coral-sol já foram descritos no Golfo do México (Sammarco et al., 2004), e em regiões de Belize, México, Colômbia, Venezuela, Jamaica (Well, 1973; Fenner, 1999; Fenner & Banks, 2004; Sammarco et al., 2004; Precht et al., 2014), Austrália (Cairns, 1994, 2004) e Nova Zelândia (Brook, 1999). Ademais, a base de dados “*Global Invasive Species Database*” relata que *T. coccinea* já foi registrado em todos os continentes, com exceção da Antártica (Global Invasive Species Database, 2015).

De 2000 a 2010, Sammarco e colaboradores estudaram a distribuição e a abundância de corais escleractíneos por mergulho e por veículo operado remotamente (ROV) em 81 plataformas de óleo e gás em águas rasas e profundas no Golfo do México. Além da espécie *T. coccinea*, também foi descrita a presença de *T. micranthus*, que não possui registro de ocorrência no Brasil. Em outro estudo conduzido por Sammarco e colaboradores (2015), essas duas espécies mostraram sucesso na competição por espaço em 13 plataformas de óleo e gás no norte do Golfo do México, sendo que *T. micranthus* mostrou uma frequência variada de presença entre as plataformas, diferentemente de *T. coccinea*, que mostrou pouca variabilidade entre as populações (Sammarco et al., 2015). A diferença de frequência da população entre *T. coccinea* e *T. micranthus* pode ser explicada pela diferença de profundidade em que as espécies foram encontradas. *T. micranthus* foi encontrado em profundidades de 138 metros e *T. coccinea* foi limitada a profundidades de aproximadamente 78 metros (Sammarco et al., 2013), muito além das profundidades relatadas nas publicações nacionais sobre o tema (máximo de 22 metros de profundidade, em Salvador, BA) segundo Sampaio et al. (2012). Ademais, de acordo com o Dr. Paul Sammarco, (comunicação pessoal no *Workshop* de controle, monitoramento e mitigação da invasão do coral-sol no Brasil, 21-22/09/2016, Brasília, DF), não há medidas de manejo do coral-sol em curso, no Golfo do México, nem tecnologias de limpeza de macroincrustação de plataformas disponíveis.

A diferença na distribuição vertical das populações de coral-sol impacta seu controle e erradicação. A probabilidade de sucesso na erradicação do bioinvasor decresce com a dificuldade de acesso à população, ou seja, quanto maior a profundidade que uma espécie é encontrada, menor é a probabilidade de controlá-la ou erradicá-la. a mesma. Ademais, no ambiente marinho, o custo financeiro ao acesso à população está relacionado com a profundidade (Sammarco et al., 2013). Além da profundidade, outro fator limitante para o manejo desse coral é sua ocorrência em fendas e acidentes muito comuns nos costões rochosos, impedindo o acesso manual e até visual (Creed et al., 2016).

Outro fator que influencia o controle e a erradicação da bioinvasão marinha são as múltiplas invasões em um curto período de tempo. Por exemplo, há relatos que *T. micranthus* poderia ser transportado por água de lastro ou por bioincrustação nas embarcações a partir dos oceanos Índico e Pacífico para os portos de Nova Orleans e Fourchon. Assim, essa região está repetidamente exposta às plânulas dessa espécie. Nesse caso, é mais fácil fazer o controle do bioinvasor no carreador, ou seja, prevenir que ocorra contaminação na água de lastro e/ou bioincrustação nas embarcações (Sammarco et al., 2013).

O uso do envelopamento também é relatado nas publicações internacionais. Morrisey (2015) compilou resultados utilizando o método de envelopamento com o uso de biocida no tratamento da bioincrustação de embarcações. O biocida utilizado foi uma solução de cloro a uma concentração de 200 mg/l, o qual é considerado efetivo, de fácil uso e seguro para a saúde. A solução de cloro em contato com a água do mar se dissolve em dicloroisocianurato de sódio (composto comumente usado no tratamento de piscinas). A solução deve ser ministrada no período mínimo de 4 horas. O relatório apresenta uma tabela com o peso de dicloroisocianurato de sódio necessário para o tratamento em diferentes volumes de água que serão envelopados. De acordo com o relatório, o tratamento deve ser feito na chegada da embarcação para reduzir o risco de introdução de espécies bioinvasoras, ou após a partida da embarcação para reduzir o risco de espalhar o bioinvasor em novas áreas (Morrisey, 2015). Entretanto, o método utilizado no relatório não cita testes realizados contra *Tubastraea* spp., mas sim contra bioincrustação de modo geral.

Coutts & Forrest (2007) descreveram uma série de procedimentos para que uma erradicação seja bem-sucedida, e que estão elencados a seguir: (I) ter estudos de base; (II) determinações claras e resposta rápida das autoridades; (III) comprometimento de esforços e recursos para atender aos objetivos; (IV) colaboração de todas as partes interessadas; (V) tempo suficiente de quarentena para evitar a dispersão; (VI) adequada gestão de projeto; e (VII) procedimentos de garantia de qualidade. Ademais, Wittenberg e Cock (2001) citam que a erradicação de espécies invasoras marinhas é extremamente difícil e salientam que a erradicação em águas marinhas só é possível em circunstâncias extremamente incomuns que permitem o tratamento de uma população efetivamente isolada em uma área relativamente confinada. Por sua vez, Hewit et al. (2005) consideram que o controle e/ou erradicação de plantas e animais no ambiente marinho é mais desafiador do que em sistemas terrestres e postula que para obter sucesso é necessária resposta rápida, detecção precoce e que somente uma área reduzida esteja ocupada pela espécie invasora. Esses autores realizaram um teste de remoção manual da alga *Undaria pinnatifida* e ressaltam que, para uma possível erradicação ser bem-sucedida, seria necessária uma resposta rápida (quando os organismos ainda não estiverem em estágio reprodutivo) e circunscrição da distribuição dos organismos a áreas pequenas.

De acordo com os Drs. Graeme Inglis e Robert Hiliard, a Austrália e a Nova Zelândia são pioneiras e apresentam exigências mais rígidas na linha do gerenciamento de risco, que foram amplamente discutidas com os diversos setores (comunicação pessoal no *Workshop* de controle, monitoramento e mitigação da invasão do coral-sol no Brasil, 21-22/09/2016, Brasília, DF).

O Ministério de Agricultura e Florestas (MAF) da Nova Zelândia publicou um relatório sobre cenários de risco da bioincrustação de embarcações e sua gestão (*Scenarios of Vessel Biofouling Risk and their Management*, 2012). Tem como propósito identificar as consequências de diferentes bioincrustações e as opções de controle sob vários cenários. Para a implementação do relatório foi necessário avaliar a vasta metodologia disponível para o controle da bioincrustação, os diferentes tipos de embarcações e os riscos associados com a aplicação das metodologias. Assim, foram levantados três fatores primários baseados

nos diferentes cenários de risco: 1. tipo da embarcação (recreação, passageiro, pesca e embarcações comerciais – navios-tanque, embarcações carregadoras de *containers* e outras); 2. tempo que a embarcação ficará no porto (24 horas, 1 – 14 dias, mais de 14 dias); e 3. número de portos que a embarcação irá atracar. Assim, para cada combinação dos fatores primários, é designada uma das três opções de ação, conforme abaixo:

1. Não é necessário tomar ação;
2. Educação do Comandante da embarcação, por meio do uso de materiais de comunicação;
3. Tratamento da bioincrustação, pela via que melhor resultado apresentar no cenário de risco determinado: tratamento manual; ferramentas mecânicas; envelopamento; tratamento a calor; raspagem; imersão em água doce; dessecação ou até impedimento da embarcação de entrar no país.

Esse exemplo da regulação estabelecida pela Nova Zelândia, apesar de não ser específica para o coral-sol e tratar de bioincrustação de forma geral, pode servir de subsídio à discussão do Plano Nacional de Prevenção, Controle e Monitoramento do coral-sol, a cargo do MMA, ressaltando apenas as particularidades do Brasil em relação aos diferentes cenários de risco.

## REFERÊNCIAS

- Bax, N., Williamson, A., Aguero, M. Gonzales, E. & Geeves, W. (2003). *Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity*. *Marine Policy*, 27(4), 313-323.
- Begon, M., Townsend, C., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (4th ed.). Malden: Blackwell Publishing.
- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. (2009). *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Artmed Editora.
- Blackburn, T. M., Pysek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P. & Jarosík, V. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333-339, 2011.
- Bonanno, G. (2016). Alien species: to remove or not to remove? That is the question. *Environmental Science & Policy*, 59, 69-73.
- Briggs, J.c. (2007). Marine biogeography and ecology: invasions and introductions. *Journal of Biogeography* 34: 193-198.
- Briggs, J.c. (2014). Invasions, adaptive radiations, and the generation of biodiversity. *Environmental Skeptics and Critics* 3(1): 8-16.
- Bright, C. (1999). Globalization at work: Invasive species: pathogens of globalization. *Foreign Policy*, v. 116, p. 51-64.
- Brook, F.j. (1999). The coastal scleractinian coral fauna of the Kermadec Islands, southwestern Pacific Ocean, *Journal of the Royal Society of New Zealand* 29 (4): 435-460.
- Bulleri, F. & Chapman, M. G. (2004). *Intertidal assemblages on artificial and natural habitats in marinas on the northwest coast of Italy*. *Marine Biology* 145:381-391.
- Cairns, S.D. (1994). *Scleractinia of the temperate North Pacific*. *Smithsonian Contributions Zoology* 557:1-150.
- Cairns, S.d. (2000). *A revision of the shallow-water azooxanthellate Scleractinia of the Western Atlantic*. *Stud Nat Hist Caribb*, 75, 1-240.
- Cairns, S.d. (2004). The Azooxanthellate Scleractinia (Coelenterata: Anthozoa) of Australia. *Records of the Australian Museum* Vol. 56: 259-329.
- Capel, K.c.c., Migotto, A.e., Zilberberg, C. & Kitahara, M.v. (2014). Another tool towards invasion? Polyp “bail-out” in *Tubastrea coccinea*. *Coral Reefs*, 33, 1165-1165.

Capel et al. (2016). *Hitchhiking in the sea: evidence of vectors transporting the invasive coral species Tubastraea coccinea and T. tagusensis in the southwestern atlantic ocean*. In: 13th International Coral Reef Symposium.

Carlos Junior, L.a., Barbosa, N.p.u., Moulton, T.p. & Creed, J.C. (2015). *Ecological niche model used to examine the distribution of an invasive, non-indigenous coral*. Marine Environmental Research 103, 115-124.

Carlton, J.T. (1996). Biological invasions and cryptogenic species. *Ecology* 77(6): 1653-1655

Carlton, J.T. (2001). *Introduced Species in US Coastal Waters: Environmental Impacts and management priorities*. Pew Oceans Commission, Arlington, Virginia, USA, 28 p.

Castello-Branco, C.g.o., Menegola, C.m., Lorders, F.I. & Creed, J. *Avaliação experimental de esponjas associadas às populações do coral invasor Tubastraea tagusensis na Baía de Ilha Grande, RJ*. Resumo do XXX Congresso Brasileiro de Zoologia, 2014, Porto Alegre, p. 117.

Castilla, J. C., Lagos, N. A., Cerda, M. (2004). Marine ecosystem engineering: effects of the alien ascidian *Pyura praeputialis* upon species richness, distribution and spatial turnover in the mid-intertidal rocky shores of northern Chile. *Marine Ecology Progress Series*, v. 268, p. 119-130.

Castro, C. B. & Pires, D. O. Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing. *Bulletin of Marine Science*, v. 69, n. 2, p. 357-371, 2001.

Chapman, P. (2016). Benefits of Invasive Species. *Marine Pollution Bulletin* 107: 1-2.

Christmas, J., Eades, R., Cincotta, D., Shiels, A., Miller, R., Siemien, J., Sinnott, T. & Fuller, P. (2001). History, management, and status of introduced fishes in the Chesapeake Bay basin. *Proceedings of conservation of biological diversity: A key to the restoration of the Chesapeake Bay ecosystem and beyond*, pp. 97-116.

Colautti, R.i. & Macisaac, H.j. (2004). A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and Distributions* 10:135-141.

Commonwealth Of Australia (2015). *Australian Emergency Marine Pest Plan (EMPPPlan)*. Rapid Response Manual. Generic manual. Version 1.0.

Concepcion, G.T., Kahng, S.E., Crepeau, M.W., Franklin, E.C., Coles, S.L. & Toonen, R.J., (2010). *Resolving natural ranges and marine invasions in a globally distributed octocoral (genus *Carijoa*)*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 401, 113-127.

Coutinho, R. et al. (2013). *Avaliação Crítica das Bioinvasões por Bioincrustação*. IEAPM. Ressurgência. nº 7

Coutts, A.d.m. & Forrest, B.m. (2007). Development and applications of tools for incursion response: lessons learned from the management of the fouling pest *Didemnum vexillum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 342: 154-162.

Creed, J.C. (2006). Two invasive alien azooxanthellate corals, *Tubastrea coccinea* and *T. Tagusensis*, dominate the native zooxanthellate *Mussimilia hispida* in Brazil. *Coral Reefs*, 25(3), 350-350.

Creed, J.c. & De Paula, A.f. (2007). Substratum preference during recruitment of two invasive alien corals onto shallow-subtidal tropical rocky shores. *Marine Ecology Progress Series*, 330, 101-111.

Creed, J. C., Oliveira, A. E. S., De Paula, A. F. (2008). Cnidaria, Scleractinia, *Tubastraea coccinea* Lesson, 1829 and *Tubastraea tagusensis* Wells, 1982: Distribution extension. *Check List*, v., 4(3), pp. 297-300.

Creed, J.c., Fenner, D., Sammarco, P., Cairns, S., Capel, K., Junqueira, A.o.r., Cruz, I., Miranda, R.j., Carlos Junior, L., Mantelatto, M.c. & Oigman-Pszczol, S. The invasion of the azooxanthellate coral *Tubastrea* (Scleractinia: Dendrophylliidea) throughout the world: history, pathways and vectors. *Biol Invasions*, 2016.

Crooks, J. A. (1998). Habitat alteration and community-level effects of an exotic mussel, *Musculista senhousia*. *Marine Ecology Progress Series*, v. 162, pp. 137-152.

Crooks, J.A. (2002). *Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers*. *Oikos* 97: 153–166

Da Silva, A. G. Et Al. (2014). Eleven years of range expansion of two invasive corals (*Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis*) through the southwest Atlantic (Brazil). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 141, pp. 9–16.

Davis, M. A. Et Al, (2011). Don't judge species on their origins. *Nature*, 474 pp.153–154.

De Paula, A. F. & Creed, J. C. (2004). Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) in Brazil: A case of accidental introduction. *Bulletin of Marine Science*, , 74(1), pp. 175-183.

De Paula, A.f. & Creed, J.c. (2004). Two species of the coral *Tubastraea* (Cnidaria, Sclerectinia) in Brazil: a case of accidental introduction. *Bulletin of Marine Science*, 74(1):175–183.

De Paula, A.f. & Creed, J.c. (2005). Spatial distribution and abundance of nonindigenous coral genus *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia) around Ilha Grande, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 65(4): 661–673.

De Paula, A.f., Pires, D.o. & Creed, J.c. (2014). Reproductive strategies of two invasive sun corals (*Tubastrea* spp.) in the southwestern Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 94(3), pp. 481-494.

De Paula, A.F., Pires, D.O. & Creed, J.C. (2014). *Reproductive strategies of two invasive sun corals (Tubastraea spp.) in the southwestern Atlantic*. *JMBAUK* 94(3):481–492

Dos Santos, L.A.H., Ribeiro, F.V. & Creed, J.C. (2013). *Antagonism between invasive pest corals Tubastraea spp. and the native reef-builder Mussismilia hispida in the southwest Atlantic*. *J Exp Mar Biol Ecol* 449:69–76.

FAO. (2006). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Part 1: World Review of Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO

Fenner, D. (1999). New observations on the stony coral (Scleractinia, Milleporidae, and Stylasteridae) species of Belize (Central America) and Cozumel (Mexico). *Bulletin of Marine Science* 64: 143-154.

Fenner, D. (2001). Biogeography of three Caribbean corals (Scleractinia) and the invasion of *Tubastraea coccinea* into the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 69(3), pp. 1175-1189.

Fenner, D. & Banks, K. (2004). Orange cup coral *Tubastraea coccinea* invades Florida and the Flower Garden Banks, northwestern Gulf of Mexico. *Coral Reefs* 23: 505-507.

Ferreira, C.e.l. 2003. Non-indigenous corals at marginal sites. *Coral Reefs*, 22(4), 498-498.

Ferreira, C. E. L., Gonçalves, J. E. A. & Coutinho, R. (2004). Cascos de navios e plataformas como vetores na introdução de espécies exóticas. In: SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. L. (Eds.). *Água de lastro e bioinvasão*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, p. 224.

Ferreira, C.E.L., Gonçalves, J.E.A. & Coutinho, R. (2006). Ship hulls and oil platforms as potential vectors to marine species introduction. *Journal of Coastal Research*, 39: 1341-1346.

Ferreira, C.e.l., Junqueira, A.o.r., Villac, M.c. & Lopes, R.m. (2008). Marine Bioinvasions in the Brazilian Coast: Brief Report on History of Events, Vectors, Ecology, Impacts and Management of Non-indigenous Species. Rilov, G. & Crooks, J.A. (eds.). In: *Biological Invasions in Marine Ecosystems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Floerl, O., Peacock, L., Seaward, K. & Inglis, G. (2010). *Review of biosecurity and contaminant risks associated with in water cleaning*. Report commissioned by the Australia Departament of Agriculture, Fisheries and Forestry (DAFF). Technical Report.

FUNDESPA/MMA-PROBIO. (2005). *Informe sobre espécies exóticas invasoras*. Subprojeto: Organismos que afetam ambiente marinho. Relatório final.

Global Invasive Species Database. (2015). Recuperado de <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1096>

Glynn, P.w., Colley, S.b., Mate, J.l., Cortes, J., Guzman, H.h.m., Bailey, R.l., Feingold, J.s. & Enochs, I.c. (2008). Reproductive ecology of azooxanthellate coral *Tubastrea coccinea* in equatorial eastern pacific: Part V. Dendrophyllidae. *Marine Biology*, 153, 529-524.

Gucu, A.C. (2002). *Can Overfishing be Responsible for the Successful Establishment on the Mnemiopsis leidyi in the Black Sea?*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 54, 439-451.

Guimarães, D.S.D. (2016). *Malacofauna associada ao coral bioinvasor Tubastraea tagusensis Wells, 1982 (Scleractinia: Dendrophyllidae), na Baía de Todos-os-Santos, BA*. Dissertação - Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. Departamento de Zoologia. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal. 92 pp, Link: [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=4060955](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4060955).

Hennessey, S.m. & Sammarco, P.w. (2014). Competition for space in two invasive Indo-Pacific corals – *Tubastrea micranthus* and *Tubastrea coccinea*: Laboratory experimentation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 459, 144-150.

Hewitt, C. L. et al. (2005). Efficacy of physical removal of a marine pest: the introduced kelp *Undaria pinnatifida* in a Tasmanian marine reserve. *Biological Invasions*. 7:251-263.

Heywood, V.H. (1996). Patterns, extents and modes invasions by terrestrial plants. In Drake, J. A., H. A. Mooney, F. Di Castri, R. H., Groves, E. J., Kruger, M., Rejmánek, M., M. Williamson (eds). *Biological invasions*. John Wiley & Sons, Nova Iorque, EUA.

Huxel, G. R. (1999). Rapid displacement of native species by invasive species: effects of hybridization. *Biological Conservation*, 89(2), pp. 143-152.

IUCN – International Union for Conservation of Nature. (2006). The World Conservation Union IUCN. Recuperado em 15 fev. 2006, de <http://www.iucn.org>

Junqueira, A.o.r., Julio, L.m., Ferreira-Silva, M.a.g., Campos, S.h.c., Fernandes, F.c. & Lopes, R.m. (2009). Bioinvasão no ambiente marinho. In: *Estado da arte e perspectivas para a zoologia no país*. Ed. UFPR, Capítulo 16, pp. 271 – 284.

Lin, W., Zhou, G. F., Cheng, X. Y., & Xu, R. M. (2007). *Fast economic development accelerates biological invasions in China*. PLoS ONE, 2(11), e1208.

Lages, B.g., Fleury, B.g., Rezende, C.m. Pinto, A.c. & Creed, J.C. (2010). Chemical composition and release in situ due to injury of the invasive coral *Tubastraea* (Cnidaria, Scleractinia). *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(SPE4), 47-56.

Lages, B. G. et al. (2011). Change in tropical rocky shore communities due to an alien coral invasion. *Marine Ecology-Progress Series*, v. 438, pp. 85-96.

Lages, B.g., Fleury, B.g., Rezende, C.m., Pinto, A.c. & Creed, J.c. (2012). Proximity to competitors changes secondary metabolites of non-indigenous cup corals, *Tubastraea* ssp., in the southwest Atlantic. *Marine Biology*, 159(7), 1551-1559.

Llope, M., Daskalov, G.M., Rouyer, T.A., Mihneva, V., Chan, K., Grishin, A.N. & Stenseth, N.C. (2011). Overfishing of top predators eroded the resilience of the Black Sea system regardless of the climate and anthropogenic conditions. *Global Change Biology* (2011) 17, 1251-1265.

Lockwood, J. L., Hoopes, M. F. & Marchetti, M. P. (2007). *Invasion ecology*. Malden: Blackwell Publishing.

Lockwood, J. L., Cassey, P. & Blackburn, T. M. (2009). The more you introduce the more you get: The role of colonization pressure and propagule pressure in invasion ecology. *Diversity and Distributions*, 15, 904-910.

Lodge, D. M. (1993). Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 8, pp. 133-137.

Lopes, R. M. (Ed.) (2009). *Informe sobre as Espécies Exóticas Invasoras Marinhas no Brasil*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 439p. Recuperado de: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008\\_dcbio/\\_ebooks/marinho/](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dcbio/_ebooks/marinho/)

Lövei, G. L., Lewinsohn, T. M. & Invasions in Megadiverse Regions Network. (2012). Megadiverse developing countries face huge risks from invasives. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 2-3.

Luz, B.I., Capel, K.c., Migotto, A.e., Zilberberg, E., Kitahara, M.v. (2016). A polyp from nothing: the extreme regeneration capacity of the invasive sun corals *T. coccinea* and *T. tagusensis*. In: 13th International Coral Reef Symposium, p. 207.

Maf Biosecurity New Zealand Technical Paper No: 2009/40. Enclosure treatment: A biosecure treatment for oil rig pontoons.

Mantelatto, M. C. et al. (2011). Range expansion of the invasive corals *Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis* in the Southwest Atlantic. *Coral Reefs*, 30(2), p. 397-397.

Mantelatto, M. C. (2012). *Distribuição e abundância do coral invasor Tubastraea spp.* Dissertação de Mestrado–Rio de Janeiro: Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Mantelatto, M.c., Creed, J.c. (2014). Non-indigenous sun corals invade mussel beds in Brazil. *Marine Biodiversity*, pp.1-2.

Mantelatto, M.c., Pires, L.m., Oliveira, G.j.g. & Creed, J.c. (2015). A test of the efficacy of wrapping to manage the invasive corals *Tubastrea tagusensis* and *T. coccinea*. *Management of Biological Invasions*, 6: 367-374.

Meffe, K. G. & Carroll, C. R. (1994). *Principles Of Conservation Biology*. Sunderland: Sinauer.

Menezes, N. A. (2012). *Relação espécie-área entre o coral bioinvasor Tubastraea tagusensis Wells 1982 e a carcinofauna associada*. Dissertação de Mestrado–Salvador: PPG Ecologia e Biomonitoramento, UFBA.

Meurer, B.c., Lages, N.s., Pereira, O.a., Palhano, S. & Magalhães, G.m. (2010). First record of native species of sponge overgrowing invasive corals *Tubastrea coccinea* and *Tubastrea tagusensis* in Brazil. *Marine Biodiversity Records*, 3, e62.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group*. Washington, DC: Island Press.

Miranda, R.j., Cruz, I.c. & Barros, F. (2016). Effects of the alien coral *Tubastrea tagusensis* on native coral assemblages in a southwestern Atlantic coral reef. *Marine Biology*, 163(3), 1-12.

Mizrahi, D. (2014). *Influência de processos pré e pós-assentamento no padrão de ocorrência do coral-sol, Tubastraea coccinea, no litoral norte do Estado de São Paulo*. Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - USP. Área de concentração: Biologia Comparada. 159 p.

Mizrahi, D., Navarrete, S.A. & Flores, A.A.V. (2014). Uneven abundance of the invasive sun coral over habitat patches of different orientation: an outcome of larval or later benthic processes? *J Exp Mar Biol Ecol* 452:22–30. doi:10.1016/j.jembe.2013.11.013

Mizrahi, D., Navarrete, S. & Flores, A.v. (2014). Groups travel further: pelagic metamorphosis and polyp clustering allow higher dispersal potential in sun coral propagules. *Coral Reefs*, 33, 443-448.

Mizrahi et al. (2016). *Possible interference competition involving established fish and a sun coral incursion*. *Mar Biodiv* DOI 10.1007/s12526-016-0477-2.

Mooney, H. A. & Cleland, E. E. (2001). *The Evolutionary Impact of Invasive Species*. National Academy of Sciences Colloquium. "The Future of Evolution". Vol. 98:10, pp. 5446-5451.

Moreira, P. L., Ribeiro, F. V. & Creed, J. C. (2014). Control of invasive marine invertebrates: an experimental evaluation of the use of low salinity for managing pest corals (*Tubastraea* spp.). *Biofouling*, 30(5), pp. 639-650.

Morrisey, D. *Addition of biocide during vessel biofouling treatment - an assessment of environmental effects*. Cawthron Institute, Report No. 2715 JULY 2015.

Neves, C.S., Rocha, R.M., Pitombo, F.B. & Roper, J.J. (2007). *Use of artificial substrata by introduced and cryptogenic marine species in Paranaguá Bay, southern Brazil*. *Biofouling* 23: 319-330.

Núñez, M. A., Kuebbing, S., Dimarco, R. D. & Simberloff, D. (2012). Invasive species: To eat or not to eat, that is the question. *Conservation Letters*, 5(5), 334-341.

Oigman-Pszczol, S., Creed, J., Fleury, B., Mantelatto, M.c., Capel, K.c.c., Meireles, C., Cabral, D., Masi, B. & Junqueira, A. O controle do coral-sol no Brasil não é uma causa perdida. *Ciência e Cultura*, v. 69, pp. 56-59, (2017).

Paula, A.f., Creed, J.c. (2005). Spatial distribution and abundance of nonindigenous coral genus *Tubastrea* (Cnidaria, Scleractinia) around Ilha Grande, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 65(4), pp. 661-673.

Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J., Wightman, J., Simmonds, C., O'Connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J., Aquino, T. & Tsomondo, T. (2001). Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 84:1-20.

Pimentel, D., Zuniga, R. & Morrison, D. (2005). Update on the environment and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52(3), 273-288.

Precht, W.f., Hickerson, E.I., Schmahl, G. P. & Aronson, R.b. (2014). *The invasive coral Tubastrea coccinea (Lesson, 1829): implications for natural habitats in the gulf of Mexico and the Florida Keys*. *Gulf of Mexico Science*, (1-2) p. 55-59.

Richardson, D.M., Pysek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D. & West, C.J. (2000). *Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions*. *Diversity and Distributions* 6:93-107.

Riul, P., Targino, C.H., Junior, L.A., Creed, J.C., Horta, P.A. & Costa, G.C. (2013). *Invasive potential of the coral Tubastraea coccinea in the southwest Atlantic*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 480:73-81.

Robinson, G. (1985). Influence of the 1982-83 El Niño on Galápagos marine life. In: Robinson, G. & del Pino, E.M. (eds) *El Niño en las Islas Galápagos: el evento de 1982-1983*. Publication of the Charles Darwin Foundation for the Galápagos Islands, Quito.

Rodriguez-Villalobos, J.c., Ayala-Bocos, A. & Hernadez, L. (2016). Predation by *Epidendrium billeeianum* on *Tubastrea coccinea*: use of denuded skeleton for laying eggs. *Coral Reefs*, 35:271.

Sammarco, P.w., Atchison, A. D. & Boland, G. S. (2004). Expansion of coral communities within the Northern Gulf of Mexico via offshore oil and gas platforms. *Marine Ecology Progress Series*, 280:129-143.

Sammarco, P.W., Atchison, A.D., Brazeau, D.A., Boland, G.S. & Lirette, A. (2007a) *Expansion of scleractinian corals across the N. Gulf of Mexico: a bird's eye view of large-scale patterns and genetic affinities*. Proc Austral Mar Sci Assoc, Melbourne (Abstract)

Sammarco, P.W., Brazeau, D.A., Atchison, A.D., Boland, G.S. & Lirette, A. (2007b) *Coral distribution, abundance, and genetic affinities on oil/gas platforms in the N. Gulf of Mexico: a preliminary look at the Big Picture*. Proc US Dept. Interior Minerals Management Service

Information Transfer Meeting Jan 2007, New Orleans, LA.

Sammarco, P.W., Atchison, A.D., Brazeau, D.A., Boland, G.S., Hartley, S.B. & Lirette, A. (2008). *Distribution, abundance, and genetics of corals throughout the N. Gulf of Mexico: the world's largest coral settlement experiment*. Proc 11th Int Coral Reef Symp, Fort Lauderdale, FL, July 2008, Abstract.

Sammarco, P.W., Porter, S.A. & Cairns, S.D. (2010). *A new coral species introduced into the Atlantic Ocean—*Tubastraea micranthus* (Ehrenberg, 1834) (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia): An invasive threat?* Aquat Invasions 5: 131–140.

Sammarco, P.W., Atchison, A.D., Boland, G.S., Sinclair, J. & Lirette, A. (2012a). *Geographic expansion of hermatypic and ahermatypic corals in the Gulf of Mexico, and implications for dispersal and recruitment*. J Exp Mar Biol Ecol 436-437: 36–49.

Sammarco, P.w. (2013). *Corals on oil and gas platforms near the Flower Garden Banks: population characteristics, recruitment, and genetic affinity*. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA.

Sammarco, P.W., Porter, S.A., Sinclair, J. & Genazzio, M. (2013). Depth distribution of a new invasive coral (Gulf of Mexico) –*Tubastraea micranthus*, comparisons with *T. coccinea*, and implications for control. *Management of Biological Invasions*, 4(4), pp. 291-303.

Sammarco, P.W., Porter, S.A., Sinclair, J. & Genazzio, M. (2015). *Success in Competition for Space in Two Invasive Coral Species in the western Atlantic – *Tubastraea micranthus* and *T. coccinea**. PLOS One, v. 18, p. 1-22, 2015.

Sampaio, et al. (2012). *New occurrences of the nonindigenous Orange cup corals *Tubastrea coccinea* and *T. tagusensis* (Scleractinia: Dendrophyliidae) in Southwestern Atlantic*. Check List 8, 528-530.

Scenarios of Vessel Biofouling Risk and their Management (2012) MAF Technical Paper No: 2012/07.

Sampaio, C.I.s., Miranda, R.j., Maianogueira, R. & Nunes, J.c.c. (2012). *New occurrences of the nonindigenous Orange cup corals *Tubastrea coccinea* and *T. tagusensis* (Scleractinia: Dendrophyliidae) in Southwestern Atlantic*. Check List 8, 528-530.

Santos, J. G. A. S. & Lamonica, M. N. (2008). *Água de lastro e bioinvasão: introdução de espécies exóticas associadas ao processo de mundialização*. *Vértices*, v. 10, n 1/3.

Santos, L. A. H., Ribeiro, F. V. & Creed, J. C. (2013). Antagonism between invasive pest corals *Tubastraea* spp. and the native reef-builder *Mussismilia hispida* in the southwest Atlantic. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 449, pp. 69-76.

Sax, D.F. et al. (2007). Ecological and evolutionary insights from species invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22(9), pp. 465-471.

Shrader-Frchette, K. S. (2001). Non-indigenous species and ecological explanation. *Biology and Philosophy*, 16(5), pp. 507-519.

Silva, J.S.V., Fernandes, F.C., Souza, R.C.C.L., Larsen, K.T.S. & Danelon, O.M. (2004). *Água de Lastro e Bioinvasão*, pp. 1-10. In: Silva, J.S.V. & Souza, R.C.C.L. (Eds). *Água de Lastro e Bioinvasão*. Rio de Janeiro, Ed.Interciência.

Silva, A.g., Lima, R.p., Gomes, A.n., Fleury, B.g. & Creed, J.c. (2011). *Expansion of the invasive corals *Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis* into the Tamoios Ecological Station Marine Protected Area, Brazil*. Aquat Invasions 6:S105 – S110.

Silva, A.G., De Paula, A.F., Fleury, B.G. & Creed J.C. (2014). *Eleven years of range expansion of two invasive corals (*Tubastraea coccinea* and *T. tagusensis*) through the southwest Atlantic (Brazil)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 141: 9–16.

Simberloff, D. (2003). Confronting introduced species: A form of xenophobia? *Biological Invasions*, 5(3), 179-192.

Simberloff, D. (2007). Given the stakes, our modus operandi in dealing with invasive

species should be "guilty until proven innocent." *Conservation Magazine*, 8(2), 1819.

Simberloff, D. & Rejmánek, M. (2011). *Encyclopedia of biological invasions*. California: University of California Press.

Speziale, K. L., Lambertucci, S. A., Carrete, M., & Tella, J. L. (2012). *Dealing with non-native species: What makes the difference in South America?* *Biological Invasions*, Online First.

Terra, C.s.s. (2016). *Efeito De Micro-Organismos Patogênicos Em Tubastraea coccinea* Lesson, 1829. Tese de Mestrado. Universidade Federal Fluminense - Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra.

Thompson, M. R. & Townsend, C. R. (2004). Landuse Influences On New Zealand Stream Communities Effects On Species Composition, Functional Organization And Food-Web Structure. *New Zealand Journal Of Marine And Freshwater Research*, 38, 595-608.

Townsend, C. R. (2003). Individual, population, community, and ecosystem consequences of a fish invader in New Zealand Streams. *Conservation Biology*, 6(2), 273-282.

Tyrrell, M. C. & Byers, J. E. (2007). Do artificial substrates favor nonindigenous fouling species over native species? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 342:54-60.

Valéry, L. et al. (2008). In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions*, 10(8), pp. 1345-1351.

Vázquez, D. P. & Aragón, R. (2002). Introduction to special issue on biological invasions in southern South America. *Biological Invasions*, 4, 1-5.

Vermeij, M.J.A. (2006). Early life-history dynamics of Caribbean coral species on artificial substratum: the importance of competition, growth and variation in life-history strategy. *Coral Reefs*, 25:59-71.

Vitousek, P. M. (1990). *Biological invasions and ecosystem processes: towards an integration of population biology and ecosystem studies*. OIKOS, v. 57, pp. 7-13.

Vitule, J. R. S. (2009). Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, 4(2), 111-122.

Vitule, J. R. S. & Prodocimo, V. (2012). Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. *Estud. Biol. Ambiente Divers.* 34(83), 225-237.

Vitule, J. R. S., Lima Junior, D. P., Pelicice, F. M., Orsi, M. & Agostinho, A. A. (2012). Preserve Brazil's aquatic biodiversity. *Nature*, 485, 309.

Wellington, G.M. & Trench, R.K. (1985). *Persistence and coexistence of a nonsymbiotic coral in open reef environments*. *Proc Natl Acad Sci* 82:2432-2436

Wells, J. W. (1973). *New and old scleractinian corals from Jamaica*. *Bull. Mar. Sci.* 23:16-58.

Williamson, M. (1996). *Biological invasions*. Springer Science & Business Media.

## **CAPÍTULO 2**

ASPECTOS TÉCNICOS,  
OPERACIONAIS E  
LOGÍSTICOS DOS  
SETORES PORTUÁRIO,  
DE TRANSPORTE,  
DE CONSTRUÇÃO  
NAVAL OFFSHORE E  
PETRÓLEO E GÁS

O cenário atual relacionado à bioinvasão do coral-sol no Brasil se caracteriza pela demanda de ações urgentes de controle e mitigação, em especial no setor ambiental e na iniciativa privada, impactando o setor de petróleo e gás, de construção naval e, em menor escala, do setor portuário, e clamando por ações imediatas de prevenção e mitigação de riscos associados ao coral-sol (*Tubastraea tagusensis* e *Tubastraea coccinea*). Essa demanda de ações acabou por revelar um problema que requer a intensa articulação dos diversos setores, pois há controvérsias na Academia sobre alguns pontos, como metodologias de controle, por exemplo, bem como sobre as tecnologias hoje disponíveis para remover/eliminar a bioincrustação de substratos artificiais. Por ser uma preocupação premente, é essencial o desenvolvimento de regulamentação e normatização específica para o caso.

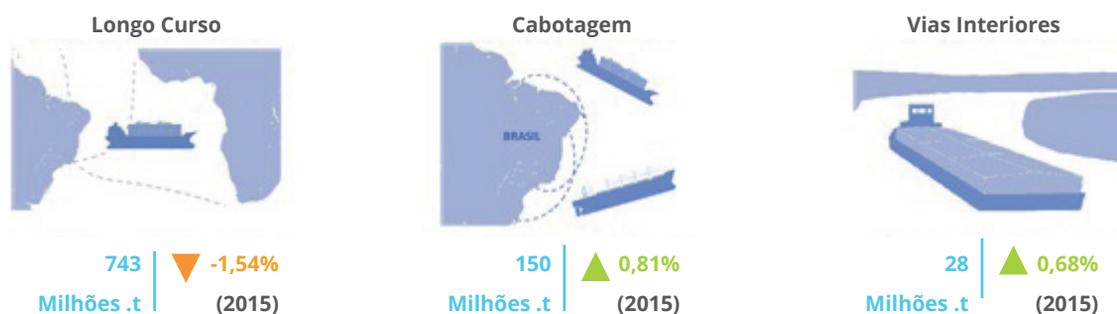
Este capítulo visa apresentar aspectos técnicos, operacionais e logísticos dos setores portuário, de transporte, de construção naval *offshore* e de petróleo e gás, por meio da apresentação de aspectos rotineiros da ação desses setores, além de apresentar alguns dos impactos que o tema tem acarretado a essas áreas. Traz ainda como anexo um rico apanhado das técnicas e operações de forma a esclarecer como operam os atores do setor, de modo a propiciar um ambiente favorável à proposição de soluções seguras e eficazes ambientalmente, ao passo que diminui o risco de determinações inexecutáveis.

## SETORES PORTUÁRIO E DE TRANSPORTE

O transporte marítimo apresentou crescimento de 130% nos últimos 30 anos e, atualmente, representa 80% do comércio global. A dinâmica do transporte marítimo (cabotagem e longo curso) potencializa o desenvolvimento econômico, permite o suprimento da cadeia de fornecimentos (caso, por exemplo, do transporte de petróleo e derivados do Estado de São Paulo e do Estado do Rio de Janeiro para outras regiões brasileiras), fomenta a produção agropecuária e industrial, a extração de minérios e gera empregos e renda à população. O sistema marítimo brasileiro é concentrado nos portos do Sul e do Sudeste, sendo responsáveis por grande parte das importações e exportações nacionais (longo curso). Assim, pode-se dizer que há uma concentração dos fluxos internacionais de cargas nessas duas macrorregiões do País (granéis sólidos e líquidos e artigos industriais). O transporte marítimo do Estado de São Paulo movimentava produtos oriundos de diversas regiões do País (grãos, farelos, açúcar, industrializados, etc.) e também de outros países (Bolívia e Paraguai), ao mesmo tempo em que recebe bens que seguem, via intermodal, para vários estados da Federação.

Em 2016, segundo anuário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq), foram movimentadas no sistema portuário nacional, 997.359.00 toneladas de mercadorias. Entre essas movimentações, os Terminais de Uso Privado (TUP) apresentaram maior participação em relação aos portos brasileiros, registrando um percentual de 65,6% das movimentações.

A Figura 1 apresenta o percentual de movimentação de cargas em toneladas, em 2016, com relação à navegação de cabotagem, de longo curso e por vias interiores (hidrovias).



**Figura 1** – Transporte de carga com relação ao tipo de navegação em 2016 (fonte: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2016/>, acessado em 06/04/2016).

A principal carga movimentada para navegações de longo curso foi a de minérios, escórias e cinzas, correspondendo a 51% da carga transportada. Esse é um valor significativo, pois além de indicar forte presença desse tipo de carga nas movimentações marítimas, a quantidade movimentada é, inclusive, maior que toda a carga transportada por navegação de cabotagem em 2016.

Entre os principais produtos transportados na cabotagem nacional no ano de 2016, estão os granéis líquidos e gasosos com 114.615.298 toneladas (77%), granéis sólidos com 17.756.779 toneladas (11,9%), cargas containerizadas com 10.582.849 toneladas (7%) e carga geral com 5.995.486 toneladas (4%). A partir dos dados apresentados, é possível identificar que o sistema portuário brasileiro apresenta-se com grande variação geográfica, inclusive quando são comparados os portos utilizados para um tipo de carga específica.

A cabotagem, pelas vantagens econômicas e ambientais que oferece, tem crescido a valores superiores ao da economia nacional, em especial na movimentação de contêineres. Na movimentação de contêineres praticamente todos os portos brasileiros são atendidos, com frequência variada de acordo com a demanda, havendo casos em que diariamente existe um navio fazendo cabotagem naquele porto. Hoje temos 19 navios de contêiner de bandeira brasileira fazendo cabotagem, e mais um número variável de bandeira estrangeira para atender a demandas pontuais. Vale destacar que os mesmos navios que fazem esta cabotagem atuam no comércio com a Argentina, Uruguai e muitas vezes Chile e Peru.

Ainda que pela legislação não se enquadre em cabotagem, mas sim em navegação de apoio marítimo, hoje existem mais de 300 embarcações de bandeira brasileira e outras 100 operando no apoio logístico às unidades de produção e exploração de petróleo na Zona Econômica Exclusiva, ou seja, operam regularmente entre as plataformas e portos na costa onde estão as bases de apoio.

Com relação à frota de embarcações atuando na cabotagem no País, foram registradas, em 2016, atracações de 760 embarcações em instalações portuárias (portos públicos e terminais de uso privado). Entre as rotas mais frequentes podemos citar aquela entre o Terminal de Barcaças Luciano Villas Boas Machado, na Bahia e o Portocel, em Barra do Riacho, no Espírito Santo. Do Porto de Santos partem, ou se destinam, rotas também bastante frequentes para o Porto de Suape, em Pernambuco, o Porto de Vitória no Espírito Santo e o Porto de Paranaguá, no Paraná.

No ano de 2016, foram registradas 1.726 embarcações atracando nos portos públicos e instalações portuárias de uso privado no Brasil. O Porto de Santos, no estado de São Paulo, se apresenta como a principal origem e destino das rotas de longo curso no País. Entre as rotas de longo curso mais frequentes estão aquelas entre Buenos Aires na Argentina e o Porto de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul, bem como aquela entre o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira no Maranhão e o Porto de Qingdao, na China; Montevideu no Uruguai e Porto de Rio Grande. Do Porto de Santos partem, ou se destinam, rotas frequentes para o Porto de Antwerpen na Bélgica bem como o Porto de Buenos Aires. Na sequência, das rotas mais frequentes de longo curso está aquela entre Houston nos Estados Unidos e Porto de Suape em Pernambuco e a entre Buenos Aires e o Portonave em Navegantes, em Santa Catarina.

As empresas que operam na cabotagem continuam fazendo investimentos na renovação e crescimento da frota com a incorporação de novos meios, em especial navios de contêiner. Os navios de granéis sólidos/carga geral crescerão à medida que novos projetos surgirem, portanto dependem do crescimento industrial do País. Para granéis líquidos, as empresas brasileiras incorporaram novos meios, sendo relevante o crescimento da frota da indústria do petróleo.

No apoio marítimo o programa de renovação da frota fez com que mais de 100

embarcações fossem construídas nos anos mais recentes. Entretanto, a crise internacional na indústria de petróleo e gás associada à crise interna fez com que o ritmo diminuísse.

A redução do tempo no embarque, desembarque e de viagens são as características do setor de transporte marítimo, seja ele de cabotagem ou de longo curso, sempre buscadas por seus proprietários e operadores. Grandes investimentos foram feitos nos portos brasileiros para sua modernização e ampliação da capacidade de movimentação de carga e, com isso, redução de tempo na atracação de embarcações. Para as embarcações, desenvolvimento de novos desenhos de cascos, motores mais potentes e mais leves, e até mesmo surgimento de novas tintas com menor coeficiente de atrito foram observados nos últimos anos, levando a economia em combustível e menor tempo no deslocamento entre portos.

No contexto da bioinvasão, essas duas características apresentam implicações e desafios diferentes. É interesse da indústria de transporte marítimo o controle das bioincrustações, uma vez que estas provocam perdas consideráveis da hidrodinâmica das embarcações, levando ao maior arraste da estrutura, conseqüente redução da velocidade e aumento do consumo de combustíveis. A própria velocidade de deslocamento, que atualmente está entre 12 e 28 nós (22 a 43 km/h), deve ser vista como uma limitação para determinados grupos animais, uma vez que a pressão da água gerada durante as viagens poderia causar danos às estruturas desses animais ou ser extremamente estressante para sua sobrevivência. Já a diminuição do tempo de atracação nos portos leva a uma menor capacidade de transferência de organismos viáveis entre a embarcação e meio ambiente portuário para colonização de novas áreas.

A Antaq tem a atribuição de fiscalizar e aplicar multas em todos os portos organizados, arrendatários, operadores portuários e terminais de uso privado. A Resolução Antaq nº 3274 de 2014, em seu artigo 32, normatiza as seguintes infrações administrativas a que se sujeitam a Autoridade Portuária, o arrendatário, o autorizatário e o operador portuário, observadas as responsabilidades legal, regulamentar e contratualmente atribuídas a cada um desses agentes:

XVI - não prestar, nos prazos fixados, ou ainda, omitir, retardar ou recusar o fornecimento de informações ou documentos solicitados pela Antaq: multa de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) a R\$ 100.000,00 (cem mil reais);

XXXIV - dar causa, por qualquer meio, a dano ambiental nas áreas e instalações portuárias ou áreas adjacentes, ou ainda, não adotar as providências necessárias à sua prevenção, mitigação ou cessação: multa de R\$ 250.000,00 (duzentos e cinquenta mil reais) a R\$ 500.000,00 (quinhentos mil reais);

XXXVIII - não cumprir ou não fazer cumprir as leis, a regulamentação da Antaq, o contrato de concessão, o convênio de delegação, o contrato de arrendamento, o contrato de adesão, o regulamento do porto organizado, normas de segurança do Código ISPS e as determinações da Antaq, da Autoridade Portuária, da Conportos e do poder concedente, exceto quando a conduta infracional se enquadrar em tipo específico contemplado nesta norma: multa de até R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais);

Além disso, a Antaq atua incentivando as boas práticas ambientais no setor portuário e de transportes aquaviários, por meio das avaliações periódicas do Índice de Desempenho Ambiental (IDA), incluindo, por exemplo, o item “monitoramento de espécies exóticas”. O IDA já é aplicado para os portos públicos desde 2012, e está sendo adaptado e expandido para os terminais privados. Segundo dados de 2016 do IDA, apenas 30% dos portos públicos (09 de um total de 30) realizam monitoramento regular de espécies exóticas, e a maioria destes na região Sul do Brasil.

exóticas/invasoras na área do porto” do Índice de Desempenho Ambiental da Antaq (Dados de 2016).

Porto público	Levantamento	Monitoramento regular	Controle
Angra dos Reis	*	Não	Não
Aratu	*	Não	Não
Belém	*	Não	Não
Cabedelo	Sim	Não	Sim
Forno	Sim	Sim	Sim
Fortaleza	Sim	Não	Não
Ilhéus	Sim	Não	Não
Imbituba	Sim	Sim	Não
Itaguaí	*	Não	Não
Itajaí	Sim	Sim	Sim
Itaqui	Sim	Não	Não
Maceió	Não	Não	Sim
Natal	Sim	Não	Não
Niterói	*	Não	Não
Paranaguá	Sim	Sim	Sim
Pecém	Sim	*	*
Porto Alegre	Sim	Não	Não
Porto Velho	*	Não	Não
Recife	*	Não	Não
Rio de Janeiro	*	Não	Não
Rio Grande	Sim	Sim	Sim
Salvador	Sim	Não	Não
Santana-Macapá	Sim	Não	Não
Santarém	*	Não	Não
Santos	Sim	Não	Não
São Francisco do Sul	Sim	Sim	Sim
São Sebastião	Sim	Sim	Sim
Suape	Sim	Sim	Sim
Vila do Conde	*	Não	Não
Vitória	*	Não	Não

\* não disponível.

Importante destacar que as normas e regulamentos refletem acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário, em especial no âmbito da Organização Marítima Internacional – IMO. Assim, quaisquer regras unilaterais costumam ser alvo de críticas pela comunidade internacional, podendo causar sérias consequências para o desempenho comercial brasileiro já que mais de 90% desse comércio é realizado por esse modal. No caso específico das bioinvasões, ressalta-se que em 2011 a IMO adotou as “Diretrizes para o controle e a gestão da bioincrustação dos navios” para minimizar a transferência de espécies aquáticas invasivas (Resolução MEPC.207(62), expressa em maior detalhe no Capítulo 4 deste relatório).

Nesse sentido, é relevante também mencionar que a Meta de Aichi nº 9, adotada pela Convenção da Diversidade Biológica (CDB), prevê que até 2020, espécies exóticas invasoras e seus vetores terão sido identificados, espécies prioritárias terão sido controladas ou erradicadas, e medidas de controle de vetores terão sido tomadas para impedir sua introdução

e estabelecimento. Dessa forma, o Brasil tem como compromisso o estabelecimento de medidas de prevenção associadas às principais vias e vetores de dispersão de espécies exóticas invasoras, incluindo a bioincrustação.

### SETOR DE CONSTRUÇÃO NAVAL OFFSHORE

O setor de construção naval e *offshore* é um braço estratégico para a indústria brasileira. Integra a cadeia de fornecimento do setor de óleo e gás em posição especial, por ser simultaneamente uma indústria de transformação e um integrador de outros entes da cadeia de fornecedores de bens e serviços, a exemplo do que ocorre com a indústria automobilística, podendo promover o desenvolvimento regional.

Com a descoberta do Pré-Sal, a partir de 2007, e a adoção de um conjunto de medidas incentivadoras por parte do Governo Federal, a indústria naval brasileira vivenciou um intenso processo de retomada, com o surgimento da demanda por equipamentos sofisticados, assegurada em escala suficiente que a conduziu não só a intensificação da sua produção, mas fazê-la em um novo patamar tecnológico, resultando na implantação de novas unidades de última geração em diversos pontos do País.

Em paralelo, no cenário internacional, a alta dos preços do petróleo ao longo do último decênio representou outro fator decisivo para intensificar a exploração e a produção em águas profundas e ultraprofundas, mais distantes da costa, criando com isso uma demanda por embarcações de grande porte como navios-sonda, plataformas de produção e embarcações de apoio marítimo com características e exigências técnicas diferenciadas.

A partir de incentivos governamentais ocorreu a construção de novos estaleiros no País, como também a ampliação e modernização dos sítios mais antigos, que investiram fortemente na sua capacidade produtiva para atender à demanda do mercado, respaldado por grandes pacotes de encomendas.

Hoje, o mapa de distribuição dos estaleiros, apresentado na Figura abaixo, mostra uma concentração maior ao longo da costa brasileira, em especial no estado do Rio de Janeiro.



Figura 2 – Mapa de distribuição dos estaleiros - Fonte: Sinaval (2015)

Já a Tabela 2 apresenta a capacidade total instalada no País, considerando a soma

individual de cada uma das características físicas e operacionais dos grandes estaleiros nacionais.

**Tabela 2** – Capacidade total instalada no País do “Estaleiro Brasil” - Fonte: Estaleiro Brasil (Sinaval, 2014).

Estaleiro Brasil	Unid.	Total
Área Total	mil m <sup>2</sup>	8.472
Processamento de Aço	mil t/ano	714
Número de Carreiras	Qtde.	6
Comprimento Médio Carreiras	m	275
Boca Média Carreiras	m	50
Número de Diques	Qtde.	7
Comprimento Médio Diques	m	290
Boca Média Diques	m	80
Número de Berços	Qtde.	31
Comprimento Total de Cais	m	11.010

Para a constituição do ESTALEIRO BRASIL foram considerados apenas os diques e carreiras com porte para a construção de embarcações maiores ou iguais à Panamax.

Apesar de todos os esforços descritos, a indústria da construção naval e *offshore* brasileira atravessa uma grave turbulência com sérios impactos nos estaleiros nacionais, decorrente de uma série de fatores como a queda do preço do petróleo e do dólar no cenário mundial, a grave crise política, institucional e econômica que o País atravessa e a crise de gestão na Petrobras, maior empresa demandante de embarcações *offshore* no País, que reduziu drasticamente os seus investimentos e, por consequência, a demanda por embarcações. Como consequência, graves impactos sociais têm sido percebidos, seja nas comunidades do entorno das unidades, refletindo nos comércios locais, em toda a rede de prestação de serviços, seja na perda de investimentos realizados na qualificação profissional, do conhecimento adquirido e de competitividade internacional, além do atraso na curva de aprendizado e das transferências de tecnologias realizadas, já que a maioria se aliou a estaleiros asiáticos.

As perspectivas para o futuro da construção naval no País, no entanto, estão relacionadas à diversificação das atividades dos estaleiros, aproveitando a infraestrutura instalada, de forma a não se perder os vultosos investimentos realizados na implantação de parques modernos e dotados de tecnologia de ponta. Essas unidades poderão ser utilizadas para a fabricação de tubulações e outros materiais industriais, integração de módulos, reparo, manutenção e descomissionamento de embarcações, inclusive para plataformas de exploração de petróleo, área de logística para recepção e armazenagem de cargas diversas, entre outras atividades.

A atividade de construção naval envolve o atendimento a uma série de normas, regulamentações de natureza ambiental, marítima e, em geral, por dispor de Terminal de Uso Privativo, remete também ao setor portuário.

Em linhas gerais, além do licenciamento ambiental, um estaleiro precisa de autorização da autoridade marítima, da Agência Nacional de Transporte Aquaviário – Antaq e da Secretaria de Patrimônio da União do Ministério do Planejamento (SPU/MP). Neste capítulo trataremos especialmente dos aspectos ambientais.

O licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente. No caso dos estaleiros, em geral, os processos de licenciamento ambiental são feitos pelos órgãos de meio ambiente estadual, mas a depender de cada projeto, considerando variáveis

específicas, esse licenciamento poderá ser enquadrado no âmbito da competência de licenciamento federal, sendo conduzido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama.

Tal procedimento objetiva analisar a viabilidade ambiental e evitar, mitigar e compensar eventuais impactos ao meio ambiente e às comunidades do entorno dos empreendimentos, sejam decorrentes das atividades de implantação dessas unidades industriais, seja de suas atividades operacionais.

As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental federal se encontram expressas na Lei 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97. Além dessas, observa-se ainda a Lei Complementar nº 140/2011, que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento principal a localização do empreendimento, seu porte, a natureza da atividade, entre outros aspectos (Ibama, 2017).

Destaca-se, no entanto, que os tratamentos dados pelos diversos órgãos ambientais durante o processo de licenciamento guardam entre si muitas similaridades, várias especificidades e algumas assimetrias na definição das condicionantes ambientais estabelecidas para os empreendedores a partir da definição da obrigação de desenvolvimento e implantação de uma gama variada de programas e projetos socioambientais.

No que tange às similaridades, a maior parte dos licenciamentos de estaleiros trazem em suas licenças a obrigação de implantar planos e programas, conforme o caso, de compensação de supressão de vegetação, recuperação de áreas degradadas, gerenciamento de efluentes e de resíduos sólidos, plano de atendimento a emergências, plano de emergência individual, auditoria ambiental, educação ambiental (trabalhadores e comunidades), comunicação social, além de diversos monitoramentos como: ruído, qualidade do ar, qualidade e quantidade de água, água de lastro, entre outros.

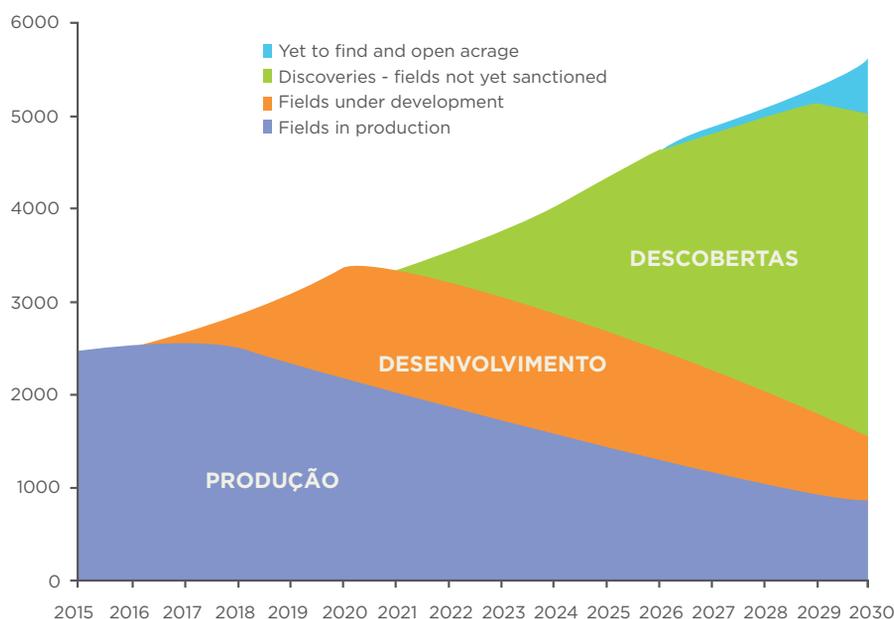
As especificidades decorrem de muitas variáveis, tais como: localização geográfica, porte do empreendimento, tipo de construção, comunidades impactadas, decisões judiciais, proximidade de áreas sensíveis ou unidades de conservação, meio biótico e abiótico, geralmente identificadas a partir do estudo de impacto ambiental.

## **SETOR DE PETRÓLEO E GÁS**

A indústria do petróleo, por seu caráter global, tem como característica o compartilhamento de recursos e equipamentos. As recentes reduções das barreiras alfandegárias tendem a aumentar esse compartilhamento, favorecendo os deslocamentos em nível mundial. No Brasil, atualmente, admite-se que diversos operadores possam vir a atuar no Pré-Sal, devido ao aumento da participação de grandes companhias, com a possibilidade de que participem de oportunidades de exploração e produção em nossas bacias.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2015), 95% dos 16,2 bilhões de barris de reservas nacionais provadas de petróleo localizam-se no mar (campos *offshore*). Essa realidade deve permanecer em patamares elevados por conta das duas recentes megadescobertas no Pré-Sal, que abrange boa parte da margem continental das regiões Sudeste e Sul do País. Dessa forma, entende-se que restrições para atividades marítimas relacionadas às operações *offshore* devem ser bem discutidas, para que não se estabeleçam incertezas associadas a regulamentações expedidas. O setor de petróleo tem tido importante participação no PIB nacional, gerando cerca de 550 mil empregos diretos, sendo reconhecido como estratégico e recebendo incentivos a contribuir para acelerar o retorno imediato de investimentos no País.

Assim, há uma expectativa para a retomada dos investimentos e um crescimento na produção de óleo e gás nacional até 2030, superior aos atuais 2,5 milhões de barris por dia (Figura 4).



**Figura 4** – Produção futura de óleo e gás (Milhões de barris por dia) – Fonte: Rystad Energy (UCube Sept 2016).

No cenário mundial, um ambiente de preços baixos do barril do petróleo vem se mantendo desde 2014, levando a fortes quedas de investimentos na indústria de petróleo e gás. O resultado (em 2016) foi o registro do menor volume de descobertas de óleo e gás desde 1947. No entanto, desde o final de 2016, a indústria apresenta uma expectativa crescente de intensificação de investimentos no País. Algumas movimentações recentes, no mundo e no Brasil, confirmam mudanças esperadas para os próximos meses. Isso se justifica, pois apesar de haver um cenário de dólar mais baixo e de preços do petróleo próximos ao patamar de 50 USD/bbl, a indústria vem se adaptando e buscando eficiência nos negócios. Nesse sentido, as negociações com os provedores de serviços vêm baixando os preços dos projetos de investimento.

A atividade de exploração e produção (E&P) *offshore* de petróleo e gás abrange as fases de sísmica (pesquisa geológica e geofísica), de perfuração e de produção. A fase de pesquisa compreende a aquisição, processamento e interpretação de dados sísmicos para o estudo de áreas com probabilidade de ocorrência de hidrocarbonetos. Em seguida passa-se à fase de perfuração, que confirma ou não a existência de petróleo e gás natural para, assim, iniciar a fase de desenvolvimento da produção do poço propriamente dita. Ao término das atividades de produção, os procedimentos inerentes ao descomissionamento do projeto são iniciados.

O Anexo II do presente relatório traz todos os detalhes das etapas de operação do setor, com riqueza de detalhes. São operações de logística complexa que envolvem diversos outros setores. Com o objetivo de focar o corpo do relatório nas questões ligadas à bioinvasão por coral-sol, passamos a apresentar as práticas vigentes para prevenção e remoção de bioincrustação em unidades marítimas a serviço do setor de O&G.

## 1. SISTEMAS ANTI-INCRUSTANTES

A bioincrustação começa a se instalar poucos minutos após qualquer substrato, incluindo cascos de navios, entrar em contato com a água do mar, caso não tenha sido aplicada proteção anti-incrustante. Inicialmente forma-se um filme bacteriano (biofilme) que serve de base para uma sucessão da comunidade incrustante. Para navios de grande porte, como os “*Very Large Crude Carriers*” – VLCCs (navios com capacidade entre 200.000 e 319.999 Toneladas de Porte

Bruto - TPB<sup>1</sup>, por exemplo, a incrustação pode chegar a 970 t no total, considerando que sua área permanentemente submersa (Fundo Chato e Vertical)<sup>2</sup> é de aproximadamente 19.400 m<sup>2</sup>. Conseqüentemente, isso aumenta o arraste do navio, prejudicando sua manobrabilidade, reduz significativamente a sua velocidade e leva a um aumento considerável no consumo de combustível, podendo chegar até a 50%.

Uma das razões para a realização de uma docagem não planejada, ou seja, além daquelas previstas pelas regras das Sociedades Classificadoras, ou de emergência (nos casos de avarias ou problemas de vedação do eixo propulsor), é a necessidade de limpeza da bioincrustação e o reparo ou reaplicação da tinta anti-incrustante.

A aplicação de sistemas anti-incrustantes eficazes visa, principalmente, diminuir o atrito com a água (arraste), evitando ou diminuindo a aderência de organismos marinhos, e traz os seguintes benefícios:

- Economia significativa de combustível;
- Maior disponibilidade para uso comercial; e
- Redução da probabilidade de introdução/disseminação de espécies exóticas invasoras.

Os sistemas anti-incrustantes utilizados em navios e outras unidades marítimas contribuem para a proteção das seguintes áreas:

### **Tubulações e caixas de mar**

Nesse caso são utilizados os Sistemas de Prevenção de Crescimento Marinho (em inglês, *Marine Growth Prevention Systems* – MGPS), que compreendem a injeção de compostos à base de cloro, por exemplo, para evitar incrustação nas tubulações; injeções periódicas de vapor nas caixas de mar e sua alternância de uso, pois caso o dispositivo fique inativo, há uma tendência de aumento da bioincrustação.

### **Cascos**

Eletricidade: dispositivo que opera produzindo uma diferença de carga elétrica entre o casco e a água do mar que desencadeia um processo químico de inibição de bioincrustação. É um sistema mais caro, de pouca durabilidade e pode ser facilmente danificado. Há, ainda, uma tendência ao aumento do risco de corrosão e de maior consumo de energia;

Sistema ultrassônico: este sistema utiliza transdutor e tecnologia digital eletrônica. Funciona gerando, simultaneamente, pulsos de energia ultrassônica em várias faixas de frequência. A cavitação gerada é capaz de limpar a parte submersa do casco e matar organismos unicelulares, impedindo a incrustação de organismos maiores. Esse sistema só é efetivo para embarcações pequenas (ex.: recreação); e

Tintas anti-incrustantes: é o sistema anti-incrustante mais amplamente utilizado e há diversos tipos de tintas que serão descritas na seção seguinte.

Os cascos de navios e outras unidades marítimas requerem a aplicação de uma série de camadas de tinta (demãos) que atendem a diversas finalidades, sendo a tinta anti-incrustante, uma delas. Os esquemas de pintura, utilizados com mais frequência no casco externo dos navios, compreendem as seguintes tintas:

Anticorrosivas: tintas epóxi – aplicadas sobre a superfície do aço, em duas ou três demãos, conforme a especificação técnica;

1- Tonelagem de Porte Bruto (TPB) – em Inglês, Deadweight (DWT) – não é somente o peso da carga; é também o peso de combustível, tripulação e pertences, víveres, água e óleo lubrificante nas tubulações da Praça de Máquinas. Em outras palavras, o peso da carga está incluído na TPB, mas a TPB não é só o peso da carga. O peso total do navio (em determinado calado) é chamado Deslocamento. Assim, temos a fórmula abaixo:

Deslocamento (peso total em determinado calado) = Peso Leve (peso do aço estrutural e todos os equipamentos e redes) + TPB (peso da carga + tudo que foi descrito anteriormente).

2- As áreas externas dos navios são divididas em: Fundo Chato (*Flat Bottom*) - até a altura da bolina; Fundo Vertical (*Vertical Bottom*) - da bolina até a linha d'água de lastro normal; *Boottop* - zona de variação entre as linhas d'água de lastro normal e de carga máxima; Costado (*Top Side*) - área acima da linha d'água de carga máxima até o convés (em termos de pintura).

*Tie-coat*: tinta epóxi vinílica e tinta coal-tar (alcatrão de ulha) vinílica – a tinta anti-incrustante não pode ser aplicada diretamente sobre a tinta epóxi anticorrosiva, pois não haverá aderência entre elas; por isso é necessária a aplicação de uma demão intermediária com a tinta *tie-coat*, pois esta proporciona aderência da primeira demão de tinta anti-incrustante sobre a última demão da tinta epóxi anticorrosiva.

Anti-incrustantes: vinílica; CDP; híbrida; SPC; e FR.

As tintas anti-incrustantes utilizadas na década de 1960 eram à base de cobre, contendo, ainda, compostos de mercúrio e arsênio que protegiam os cascos por cerca de dois anos. O biocida era eliminado a partir da base da tinta. Na década de 1970, o principal componente das tintas anti-incrustantes passou a ser o tributílo estanho (em inglês, *tributyl tin* – TBT), biocida de grande eficácia, porém-altamente tóxico para o ambiente. Na década de 1980, foram desenvolvidas as tintas anti-incrustantes de autopolimento contendo copolímeros (em inglês, *self-polishing copolymer*), contendo TBT. Nesse caso, a liberação do biocida ocorre paulatinamente, através do desgaste controlado da tinta, camada após camada, expondo continuamente uma nova camada à água do mar, pois a base da tinta é quimicamente ligada ao biocida, com uma taxa de liberação relativamente constante. Com isso, a proteção dessa tinta aumentou muito, chegando a períodos de até 5 anos.

Reconhecendo os impactos ecotoxicológicos da utilização desse composto, comprovados através da identificação do efeito imposex em moluscos (já que o TBT é um disruptor endócrino), entre outros efeitos deletérios ao ambiente, em 2001, foi adotada a Convenção Internacional sobre o Controle de Sistemas Anti-incrustantes Nocivos em Navios (em inglês, *International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships*). Essa convenção entrou em vigor em 2008, estabelecendo que, a partir de janeiro/2003, não poderiam mais ser aplicadas tintas anti-incrustantes contendo estanho e, a partir de janeiro/2008, esse tipo de tinta não poderia mais ser aplicado nos navios, devendo toda a frota mundial substituir as tintas anti-incrustantes com estanho por tintas sem estanho.

Essa convenção, refletida no Brasil pela NORMAM 23/2007 DPC de Controle de Sistemas Anti-incrustantes Danosos em Embarcações, tem o objetivo de reduzir ou eliminar os efeitos nocivos ao meio ambiente marinho e à saúde humana, causados por sistemas anti-incrustantes e proíbe a aplicação de compostos à base de organoestanho (ex.: TBT) como biocidas.

Toda a frota do setor de petróleo e gás aplica tintas anti-incrustantes livres de estanho, em conformidade com a regulamentação vigente. Por Regulamentação da IMO, todos os fabricantes de tintas anti-incrustantes são obrigados a fornecer uma declaração, para cada navio, confirmando que a tinta aplicada é livre de estanho. Com essa declaração, a Sociedade Classificadora endossa o Certificado de Tinta Anti-incrustante Livre de Estanho daquele navio.

Desde o início da discussão sobre a proibição do uso do TBT nas tintas anti-incrustantes, os fabricantes de tintas voltaram a desenvolvê-las com outros biocidas como o óxido cuproso (com menor eficiência que o TBT), tendo sido desenvolvidas, também, várias alternativas de tintas sem utilização de biocidas, entre elas as "*Foul Release Coatings*" – FRC. A principal característica da FRC, cuja composição é à base de silicone ou fluoropolímero (que também tem silicone) é ser hidrofóbica e impedir ou reduzir significativamente a capacidade de aderência dos organismos marinhos. Com o movimento da embarcação (navegando a velocidades de 10 a 20 nós), o arraste pela água provoca o deslizamento e a remoção dos organismos porventura incrustados. Entretanto, quando o navio está parado (atracado ou fundeado), essa tinta não impede totalmente a bioincrustação e, mesmo que os organismos consigam aderir à superfície, eles podem ser removidos com muita facilidade, desde que

passa a navegar com velocidade acima de 10 nós.

Assim, na atualidade, as tintas anti-incrustantes podem ser:

Vinílicas: tinta de tecnologia antiga, à base de óxido de cobre e sem desgaste da película, pouco eficiente e hoje, praticamente, descontinuada;

“Controlled Depletion Polymer” – CDP: polímero de desgaste controlado (autopolimento), normalmente à base de óxido de cobre, que funciona por hidratação e apresenta camada lixiviada espessa (cerca de 120  $\mu\text{m}$ );

“Self Polishing Copolymer” – SPC: copolímero de desgaste controlado (autopolimento e autoalisamento), normalmente à base de óxido de cobre; funciona por hidrólise; a espessura da camada lixiviada fica em torno de 20 a 40  $\mu\text{m}$ , em média;

Híbrida: tinta com composição e desempenho entre uma CDP e uma SPC, ficando mais próxima de uma do que da outra dependendo da sua formulação; e

“Foul Release” – FR: polímero à base de silicone ou fluoropolímero, sem adição de biocida; por ser hidrofóbica, impede ou reduz significativamente a capacidade de aderência dos organismos marinhos; considerada pelos fabricantes como ecologicamente correta, mas com custo superior ao de uma SPC.

Uma comparação entre as tintas CDP, Híbrida, SPC e FR, demonstrou que elas apresentam uma ordem crescente em termos de desempenho e custo. Dessa forma, a FR apresenta maior custo e melhor desempenho, sendo a CDP a de menor custo, mas a de pior desempenho. A tinta vinílica, por ser a menos eficiente, não é mais indicada. A tinta CDP é híbrida e tem limite de operacionalidade de até 36 meses; a tinta SPC até 60 meses e a FR até 120 meses (teoricamente, pois é necessário aplicar uma demão “regeneradora” com 5 anos).

Cabe notar que, após o banimento do TBT, os prazos declarados pelos fabricantes para a duração das tintas, não são, necessariamente, alcançados na prática. Além disso, as tintas anti-incrustantes à base de cobre (muitas das quais possuem outros biocidas de alta toxicidade) também contaminam o ambiente e há uma tendência para o seu banimento futuro.

A aplicação dos esquemas de pintura, usualmente, é incluída no contrato com o estaleiro e baseada em uma Especificação de Serviços de Docagem e Reparos ou em um Memorial Descritivo, sendo o estaleiro responsável por sua aquisição e aplicação do esquema de tintas e da disposição dos resíduos gerados.

Com relação à aplicação das tintas no fundo de cascos de embarcações e equipamentos, durante as docagens, estes ficam apoiados sobre blocos chamados de picadeiros (Figura 5). Logo, algumas áreas sob o fundo, apoiadas sobre esses blocos, não conseguem ser pintadas.



**Figura 5** – Disposição dos picadeiros no dique seco do Estaleiro Mauá – RJ.

As regulamentações internacionais não exigem a pintura das obras vivas das plataformas

com tintas anti-incrustantes, assim, nem todas as unidades marítimas de E&P são pintadas com tintas anti-incrustantes. As próprias Sociedades Classificadoras recomendam que o armador decida as regiões que serão pintadas (como, por exemplo, a DNV-RP-B101 5.5/5.5.3). A frota de navios petroleiros também cumpre a recomendação de não permanecer mais de dez dias parado, de forma a potencializar a ação da tinta anti-incrustante e prevenir a bioincrustação.

Cabe salientar a atitude proativa da frota de navios petroleiros que operam para a Petrobras (Transpetro e outros armadores) que vem implementando as “Diretrizes para o Controle e Gestão de Bioincrustação de Navios para Minimizar a Introdução de Espécies Exóticas Invasoras”, expedidas pelo Comitê de Proteção ao Meio Ambiente Marinho da Organização Marítima Internacional (IMO). Entre essas recomendações para o gerenciamento da bioincrustação dos navios, inclui-se o Livro de Registro, onde são apontadas as operações de manutenção realizadas para a retirada da bioincrustação nas diversas áreas do navio, informações sobre a pintura anti-incrustante, proteção catódica, limpeza de casco e, principalmente, das áreas-nicho (leme, caixas de mar, descargas, locais de apoio de picadeiro, soldas, *bow thruster*, ecosonda, etc.). Até o momento, 56% dessa frota já adota o Livro de Registro e 44% estão em fase de implementação.

## **2. INSPEÇÕES SUBMARINAS**

As embarcações atendem a um conjunto de regulamentos nacionais e internacionais voltados para a segurança das instalações, das pessoas e do meio ambiente. Esses regulamentos preveem uma série de inspeções e vistorias para que elas continuem operando com segurança e dentro dos requisitos legais.

No Brasil, além dos representantes da Autoridade Marítima devidamente designados, somente as Sociedades Classificadoras, formalmente reconhecidas por meio de Acordo de Reconhecimento, podem realizar, em nome da Autoridade Marítima Brasileira, as auditorias, inspeções, vistorias e emissão de certificados e demais documentos previstos nas Convenções e Códigos Internacionais dos quais o País é signatário e/ou na legislação nacional aplicável.

A finalidade de todas as inspeções, nesses casos, é estrutural, sendo verificado o estado das chapas e das soldas, a existência de pontos de corrosão ou trincas geradas por fadiga, entre outros aspectos. Essa inspeção é realizada através da verificação de pequenas áreas amostrais, onde a cobertura bioincrustante é removida para permitir o uso de métodos de medição. Durante a vistoria, são produzidas fotos e filmagem das áreas amostradas do casco e o resultado é consolidado em um Relatório de Inspeção.

## **3. LIMPEZA SUBAQUÁTICA DE UNIDADES MARÍTIMAS**

Há vários desafios no que tange à remoção da bioincrustação de cascos de embarcações e um caminho a percorrer na identificação de soluções custo-efetivas para endereçar esses desafios.

A limpeza de pequenas áreas para inspeção de cascos é prática difundida e possui métodos reconhecidos. No entanto, a limpeza de grandes superfícies para remoção de bioincrustação com a tecnologia comercialmente disponível, mesmo que seja de forma suave, implica no risco de danos ao esquema de tintas aplicado e à proteção catódica dos cascos, deixando-o mais suscetível à bioincrustação e corrosão.

No caso de limpeza de jaquetas de plataformas fixas, há de se considerar o elevado risco de acelerar a corrosão das estruturas devido à remoção da sua proteção catódica resultante de operação de limpeza realizada em grandes áreas. Deve-se igualmente considerar o longo tempo necessário para a remoção de coral-sol com as tecnologias disponíveis e, considerando o potencial de crescimento desses organismos, ao término da remoção, a área

inicialmente limpa corre o risco de nova incrustação e de aumento de biomassa de coral-sol devido à disponibilização de novos *habitats* para colonização. Floerl et al. (2005) apontam que a superfície de cascos que tiveram a bioincrustação removida, mas que não possuem tratamento com pintura anti-incrustante, possibilita a intensificação do recrutamento. Os autores também verificaram seis vezes mais recrutamento sobre superfícies limpas mecanicamente do que naquelas tratadas quimicamente ou nas que possuíam comunidade incrustante instalada. Organismos coloniais incrustantes podem sobreviver à limpeza de superfícies fortemente incrustadas e em seguida crescer novamente e tornar a se reproduzir sexuadamente ou por fragmentação (Davidson et al. 2008a).

A limpeza de cascos em dique seco usando água pressurizada (hidrojateamento) é possível para todos os tipos de revestimentos, a não ser que a incrustação seja muito densa, o que dificulta sua remoção. Há, contudo, limitação de uso desse método que depende da disponibilidade de diques secos com dimensões adequadas para manutenção.

Atualmente, há vários métodos de remoção subaquática de bioincrustação, porém, todos apresentam limitações e sua seleção deve considerar o cenário de aplicação (ex.: limpeza em área abrigada ou *offshore*; áreas planas ou complexas; necessidade de preservação da tinta anti-incrustante ou não).

Essas práticas são mais eficientes e seguras se realizadas em áreas abrigadas e, usualmente, requerem equipes de mergulho operando a partir de embarcações dedicadas de suporte. Há evidências na literatura científica de alguns organismos, quando estressados, liberam gametas e/ou larvas e, em alguns casos, se não houver contenção durante a limpeza, eles podem ser liberados intactos ou em fragmentos no ambiente e se desenvolverem em outros locais persistindo no meio natural. Assim, faz-se necessária a identificação de tecnologias de limpeza que considerem a contenção da dispersão e a filtragem do efluente, bem como de empresas no mercado nacional que busquem disponibilizá-las para imediata atuação.

#### **4. SERVIÇOS DE MERGULHO**

A atividade de mergulho em ambiente *offshore* é classificada como insalubre (Anexo VI da NR-15 – Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho) e categorizada como uma condição perigosa (Normam 15 – Norma da Autoridade Marítima para Atividades Subaquáticas). Operações de mergulho *offshore* convencionais, realizadas a partir da unidade de produção, navio ou plataforma, exigem dois homens na água, que permanecem no sinete (ou sino aberto, que é um equipamento usado para transportar os mergulhadores até o local do trabalho), além de um terceiro mergulhador, equipado na superfície, pronto para intervir, em caso de necessidade. Uma equipe para operações *offshore* exige, segundo a legislação, no mínimo, oito homens. Também se faz necessário o uso de uma grande quantidade de equipamentos, como compressores, tanques de volume, garrafas de ar comprimido e de oxigênio, máscaras de mergulho, guinchos, câmara de descompressão, entre outros, de forma a possibilitar que o mergulho seja realizado em condições seguras. Esse tipo de trabalho expõe o trabalhador aos riscos das condições meteoceanográficas (como a possibilidade de choque em estruturas devido a fortes correntes) e aos riscos associados às condições hiperbáricas (como embolia, etc.). Assim, atividades de mergulho não são operações simples e devem ser realizadas sempre de acordo com todos os requisitos de segurança.

Para a realização de inspeções nas estruturas submarinas do setor de petróleo e gás, muitas vezes é necessário que se faça a remoção da bioincrustação nelas presente, de forma a possibilitar acesso de equipamentos de medição ou permitir a sua correta visualização. Remoções desse tipo, porém, são sempre feitas em pequenas áreas e, mesmo nesses casos, podem demandar grande quantidade de tempo.

Tal prática precisa ser avaliada quanto à sua eficiência, dado que uma limpeza completa

de casco em ambiente *offshore* realizada por mergulho demandaria longos períodos (atualmente a taxa de remoção obtida com os métodos utilizados está em torno de 1,3 m<sup>2</sup>/h, segundo dados da Petrobras). Por exemplo, para uma plataforma como um Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO), com uma área submersa de aproximadamente 20.000 m<sup>2</sup>, o tempo de mergulho efetivo seria de aproximadamente 15.000 horas, elevando o risco aos mergulhadores. Cabe esclarecer que a realização de operações desse tipo deve ser feita em consonância com as atividades da plataforma (atenção com tomadas d'água, movimentação de carga, etc.) e possui restrições de recursos, tanto de acomodação das equipes e equipamentos na plataforma, quanto de disponibilidade de embarcações que realizam mergulhos a partir do próprio barco.

Por fim, a remoção mecânica da bioincrustação com grande diversidade de organismos deve considerar os riscos a ela imputados, como, por exemplo: uma maior disponibilização de *habitats* para incrustação e recolonização; a dispersão desses organismos nos ambientes naturais nas imediações das unidades ou em áreas mais distantes, devido à propagação de larvas e fragmentos no processo de remoção, conforme demonstrado por Capel et al. (2015) e Luz et al. (2016)<sup>3</sup> e risco à salvaguarda da vida humana devido ao aumento das operações de mergulho levando a um maior número de imersões, pois a frequência de mergulhos é fator determinante de aumento de risco, independentemente do atendimento dos procedimentos de segurança inerentes à atividade.

### **EXEMPLOS DE IMPACTOS NOS SETORES ABORDADOS**

Nesta seção apresentaremos alguns casos vivenciados atualmente pelos setores envolvidos, de forma a exemplificar como a questão é urgente e demanda ação integrada e pactuada. Informações detalhadas sobre a descrição dos casos podem ser encontradas no Anexo II deste capítulo.

### **O CASO DA ENSEADA INDÚSTRIA NAVAL**

A Enseada Indústria Naval S.A., cujo estaleiro de sua propriedade é licenciado pelo Ibama, apresenta em sua Licença de Operação uma assimetria em relação aos demais estaleiros brasileiros, a partir do estabelecimento da exigência abaixo explicitada:

Todas as embarcações a atracar e operar no Cais devem possuir “declaração de casco limpo”. Em caso negativo, realizar inspeção prévia do casco e de demais estruturas da embarcação passíveis de bioincrustação, de forma a evitar o transporte de espécies exóticas aquáticas. (Disposição nº. 2.4 da Licença de Operação Ibama nº. 1264/2014)

Tal condicionante foi imposta à Enseada Indústria Naval, e, segundo a companhia, comprometeu significativamente a sua operação, como um impedimento ao desenvolvimento pleno de suas atividades em face aos desafios de operacionalizar tal exigência. Sabe-se hoje que, no âmbito do Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e *Offshore* – Sinaval, não há outro estaleiro com essas mesmas exigências.

Por não existir na legislação obrigação de que todas as embarcações apresentem sempre a declaração de casco limpo, toda atracação nesse estaleiro demanda o procedimento prévio de inspeção das estruturas passíveis de bioincrustação e, em caso de identificação, o processo de limpeza. Considerando que tal procedimento é demorado, arriscado e bastante custoso, os serviços ofertados, quando comparados aos demais estaleiros brasileiros, perdem em eficiência e competitividade.

3- Os autores demonstram que após aplicação de tecnologias de limpeza sem contenção, fragmentos de colônias de coral-sol, com pelo menos dois milímetros de tamanho, têm capacidade de se regenerar em novos pólipos, havendo risco de recolonização da área limpa ou mesmo colonização de substratos naturais, caso haja dispersão desses fragmentos vivos.

Por outro lado, não está claro qual órgão, instituição ou empresa seria responsável pela emissão da “declaração de casco limpo”, não restando clareza, inclusive, se o procedimento poderia ser autodeclaratório, assim como não é conhecida a metodologia a ser adotada para a sua emissão.

Em caso de detecção de bioincrustação, a escassez no mercado de metodologias consolidadas e com escala para atendimento da demanda que orientassem os procedimentos para a remoção de bioincrustação, apresentando condições comprovadamente seguras do ponto de vista ambiental e operacional, representou uma limitação que durante a sua vigência não se conseguiu ultrapassar.

Outro fator impeditivo para o cumprimento de tal condicionante refere-se aos locais apropriados onde poderiam ser realizados os processos de inspeção e limpeza requeridos, diante da impossibilidade de fazê-los com segurança em áreas *offshore*. Levando-se em conta a localização da Enseada na Baía de Todos-os-Santos (BTS), região de Maragogipe/BA, tais serviços não podem ser realizados em qualquer área da BTS, conforme Deliberação DEX 001, de 02 de fevereiro de 2015, estabelecida pela Companhia das Docas do Estado da Bahia – Codeba (Autoridade Portuária), restando uma única área que depende inclusive de disponibilidade e autorização da Capitania dos Portos e dos órgãos ambientais para tanto.

De todo modo, os questionamentos elencados demonstram um cenário marcado por incertezas e a inexistência de regulamentação específica quanto aos procedimentos relacionados ao controle e monitoramento de bioinvasão para orientar os processos de licenciamento ambiental no País, o que ocasionou as diferenças de exigências entre os estaleiros.

Destaca-se que os demais agentes que atuam na região e utilizam a navegação em suas atividades podem ser também possíveis vetores de introdução de espécie exótica e não possuem a mesma obrigação, comprometendo dessa forma a efetividade da medida exigida.

A Enseada já investiu cerca de R\$ 1,2 milhão para a realização de estudos, programas de monitoramento e ações de remoção manual de coral-sol. Vale destacar que a presença do coral-sol na região é anterior à entrada em operação do estaleiro, em outubro de 2014, na região da barra do Rio Paraguaçu, Baía de Todos-os-Santos, conforme se vê em Miranda et al. (2016).

### **ALGUNS CASOS DA PETROBRAS**

Desde 2011, a Petrobras vem vivenciando situações de origens distintas, relacionadas ao coral-sol, com imputação de restrições e exigências por vezes complexas do ponto de vista técnico-operacional e econômico, capazes de repercutir de forma significativa sobre a normalidade de suas operações. Essas situações abrangem desde ações judiciais, que podem impor obstáculos à circulação de embarcações da Petrobras e da Transpetro, até exigências no âmbito de processos de licenciamento das atividades de perfuração e produção, com reflexos em diversas escalas. Em muitos casos, a Petrobras vem alcançando resultados positivos junto às demandas judiciais e nos processos de licenciamento, em consonância com os esforços da companhia em buscar soluções operacionais para os diversos desafios que se apresentam.

#### **- Desmobilização da Unidade Estacionária de Produção (UEP) Petrobras 27 (P-27), bioincrustada com coral-sol (TAC de Produção da Bacia de Campos - Processo nº 02022.008099/02)**

A plataforma semissubmersível P-27 veio transportada de Cingapura até o Brasil, em 1998, totalmente emersa por reboque seco, posicionada no convés de uma embarcação

cegonha – *Heavy Lift Vessel*, conforme reportado pela Petrobras. Desde então, operava no Campo de Voador da Bacia de Campos, localizado a 98 km da costa e em lâmina-d'água de 533 m, conforme apresentado no Relatório de Acompanhamento das ações realizadas em virtude do deslocamento da UEP P-27 para o Canteiro de São Roque do Paraguaçu, BA, enviado ao Ibama em atendimento aos compromissos assumidos na Carta E&P-SSE 0013 de 18 de março de 2014.

Após seu tempo de vida útil, foi iniciado o processo de desativação, sendo mantida sua produção até dezembro/2013. Originalmente pretendia-se acostar essa unidade em águas abrigadas, no Canteiro de São Roque do Paraguaçu (CSR) localizado na Baía de Todos-os-Santos (BA), para avaliação sobre seu uso futuro em outros projetos de desenvolvimento da produção da Petrobras.

No início de 2013, após a autorização da desmobilização da plataforma pelo órgão ambiental, durante inspeção submarina para avaliação de aspectos técnicos/estruturais, foi constatada a presença de incrustação de coral-sol em seu casco (flutuadores). Para evitar o risco de disseminação de coral-sol no deslocamento da P-27 para o CSR, a Petrobras propôs ao órgão ambiental a utilização de um Heavy Lift Vessel (HLV) para emergir completamente a plataforma com o intuito de eliminar o coral-sol por dessecação.

Entretanto, houve dificuldades no processo contratual do HLV quanto a questões alfandegárias e, diante da reduzida janela temporal disponível desse navio-cegonha no Brasil, a operação não pôde ser realizada. Ocorre que a P-27 apresentou problemas estruturais nesse período, colocando em risco vidas humanas e, por isso, a Petrobras solicitou, em caráter de urgência, autorização para seu deslocamento imediato para o CSR.

Após uma série de troca de correspondências, a Petrobras encaminhou Parecer Técnico elaborado por pesquisador do Instituto de Estudos Almirante Paulo Moreira – IEAPM sobre o deslocamento da plataforma P-27 para a enseada do Rio Paraguaçu-BA, onde era feita uma análise dos riscos ambientais de se manter plataforma na Bacia de Campos, em face da possibilidade iminente de adernamento e posterior afundamento e dispersão do coral-sol no banco de corais de águas profundas; e das alternativas locais de destino da unidade com algumas recomendações, como o estabelecimento de parcerias com universidades para desenvolver um programa de pesquisa com objetivo de avaliar a possibilidade de adotar medidas de controle e erradicação do coral-sol presente na Enseada do Rio Paraguaçu e avaliar a aplicação de tecnologias existentes seguras e eficazes visando a remoção do coral-sol na P-27. Em seu Parecer Técnico nº 0115/2014, o Ibama solicitou que esses projetos fossem colocados em execução tão logo fosse confirmado o deslocamento da P-27 para a Baía de Todos-os-Santos (BTS). Ocorre que, em função da situação avançada de perda de integridade do casco e seus flutuadores, seria impossível estabelecer essas parcerias em prazo exequível, em função dos trâmites contratuais a serem percorridos. Por esse motivo a Petrobras encaminhou a Carta E&P-SSE 0013/2014, onde se comprometeu com a implementação de um Grupo de Trabalho que iniciaria a implantação do plano de ação para cumprimento daquela recomendação.

Diante desse cenário, a Petrobras ingressou com uma ação cautelar com pedido de antecipação de tutela, junto à Justiça Federal no Rio de Janeiro, com vistas à obtenção de permissão judicial para o deslocamento imediato da P-27 para o CSR. A rota de navegação da P-27 foi alterada, de forma inédita, visando minimizar a passagem por áreas que contivessem alta biodiversidade. A nova rota previu um deslocamento a leste da Cadeia Vitória Trindade, passando mais distante das elevações dessa formação e, conseqüentemente, do próprio Banco de Abrolhos. Com essa alteração, o percurso total da nova rota passou de 734 para 1.070 milhas náuticas, compreendido entre a locação no Campo de Voador na Bacia de Campos e a entrada da Baía de Todos-os-Santos, ampliando em 4 dias o deslocamento da

unidade, o que representou um acréscimo de R\$ 3 milhões na operação. Em termos de custos, também há que se considerar o tempo adicional que a P-27 permaneceu na locação, em decorrência do desconhecimento por parte da empresa da bioincrustação por coral-sol e das reais condições estruturais da unidade, induzindo assim o estabelecimento de um plano de descomissionamento com lacunas que demandou a realização de atividades inesperadas, dentre elas a necessidade de posicionamento por parte do órgão ambiental diante de um impacto anteriormente não indicado pela empresa, chegando a R\$ 15,7 milhões.

Cabe destacar, porém, que o maior risco decorrente do atraso da saída da unidade estava associado à salvaguarda da vida humana em decorrência de sua estabilidade. A plataforma deveria ser retirada da locação brevemente, por questões relacionadas a prazos estabelecidos pela Sociedade Classificadora para manutenção dos seus registros estatutários, em decorrência de problemas estruturais em seu casco. Assim que a unidade chegou ao CSR, foi realizado o mapeamento do coral-sol na Baía de Todos-os-Santos e os resultados entregues ao Ibama, conforme o Relatório de Acompanhamento apresentado.

O programa de pesquisa do coral-sol na Baía de Todos-os-Santos, a ser realizado com instituições locais, está em fase de contratação. O Instituto Oceanográfico da USP foi também incorporado ao Programa através de um Termo de Cooperação (assinado em dezembro de 2016), com o objetivo principal de desenvolver um sistema de imagem para identificação de larvas de coral-sol e aplicar o equipamento na Baía de Todos-os-Santos. Também foi realizada uma vistoria das estruturas submersas da P-27 para avaliar a bioincrustação da unidade pelo coral-sol. Outrossim, foram lavrados pelo ICMBio dois autos de infração pela constatação do coral-sol na estrutura da P-27 e nas estruturas fixas do Canteiro de São Roque do Paraguaçu.

#### **- Remoção de coral-sol do casco da unidade de produção do tipo FPSO (Floating, Production, Storage, Offloading Unit) Petrobras 66 (P-66) (Processo 02022.002141/2011)**

O casco do FPSO P-66 foi construído no Estaleiro Rio Grande (RS), de 2011 a 2014, onde recebeu tratamento de tinta anti-incrustante, conforme as condicionantes do processo de licenciamento nº 02022.002141/2011 da Etapa 2 do Pré-Sal. Para finalização da integração, a plataforma foi rebocada para o estaleiro BrasFELS, localizado em Angra dos Reis (RJ) e lá permaneceu até sua saída para locação, em fevereiro de 2017. A P-66 iniciou, em maio de 2017, a operação no Campo de Lula Sul na Bacia de Santo se agregará uma capacidade produtiva de 150.000 barris de petróleo por dia, representando cerca de 7% da atual produção da Petrobras.

No estaleiro BrasFELS, três anos após sua chegada e dias antes de sua mobilização para locação, durante inspeção estrutural no casco da unidade, foi identificada bioincrustação por coral-sol. Diante disso, foi realizada uma vistoria específica visando avaliar e registrar a ocorrência, distribuição e densidade do coral-sol. As informações detalhadas constam do processo de licenciamento nº 02022.002141/2011 do Ibama, no Relatório de Inspeção protocolado no órgão por meio da carta UO-BS 0017/2017.

Os resultados indicaram baixa densidade de colônias ao longo da estrutura do FPSO, espalhadas de forma esparsa no casco e apresentando dimensões pequenas, sendo a maioria em estágio inicial de crescimento. Tal fato foi comunicado ao Ibama que determinou a seguinte condicionante por ocasião da emissão da Licença de Instalação (LI 1139/2016) da unidade: *"O deslocamento da FPSO P-66 até o local pretendido para instalação só poderá ocorrer após expressa manifestação do Ibama, especialmente no que se refere à incrustação por coral-sol."*

Para atendimento à condicionante, foi protocolada Proposta de Plano de Gerenciamento

de Risco relativo à incrustação de espécies de coral-sol no casco do FPSO P-66 que recebeu do Ibama requerimento de informações e esclarecimentos adicionais e apresentando entendimento sobre a necessidade de *“avaliação, específica para a situação do FPSO, de alternativas para remoção dos corais antes de ir para locação...”* e de se *“considerar a limpeza do casco como alternativa para realizar o trajeto com mais segurança do ponto de vista ambiental”*.

Diante do posicionamento do Ibama e das exigências e considerações apresentadas no seu parecer, e considerando que o projeto Lula Sul (P-66) encontrava-se em fase avançada de implantação, sendo indispensável para atendimento dos compromissos assumidos junto aos parceiros do Consórcio BM-S-11 e metas do Plano de Negócios, a Petrobras apresentou uma alternativa de manejo do coral-sol do casco da P-66. Tratava-se da execução de procedimento de remoção manual com contenção de fragmentos e larvas, a ser efetuado no estaleiro, antes da saída da unidade em direção à locação final, na Baía de Santos.

Salienta-se que a solução proposta foi embasada nas condições específicas da P-66, ou seja, baixo grau de incrustação; porte menor; complexidade mediana de execução e localização atual da unidade em área abrigada. Nesse contexto foram buscadas estratégias para minimizar a dispersão do coral-sol e o alijamento de resíduos durante o processo de remoção, considerando também a distribuição do coral-sol na região onde o casco se encontra. Salienta-se que essa proposta metodológica foi desenvolvida para a aplicação no caso específico das condições supracitadas.

O Ibama então se posicionou no sentido de que a proposta representava a melhor alternativa ambiental naquele momento, tendo apresentado solicitações adicionais, cumpridas pela Petrobras. Assim, a remoção das colônias de coral-sol foi realizada em toda extensão do casco do FPSO-P-66 cumprindo procedimento aprovado pelo Ibama. O procedimento foi realizado por cinco equipes de mergulho, ao longo de 22 dias, quando a unidade foi, finalmente, rebocada para a locação.

Todas as colônias encontradas foram retiradas manualmente, resultando em cerca de 400 kg. As análises laboratoriais das amostras coletadas indicaram a classificação dos resíduos gerados como Classe II – A. Entretanto, considerando a necessidade do gerenciamento dos resíduos imediatamente após o encerramento das atividades antes dos resultados laboratoriais, optou-se pela adoção de uma abordagem conservadora, destinando-se todo o material gerado como Classe I (processo de incineração).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base no exposto, os setores de navegação, portuário, de construção naval e de petróleo e gás consideram essencial que soluções relativas ao controle e mitigação da invasão por coral-sol sejam analisadas à luz dos fatores apresentados, em especial buscando a isonomia entre setores e empresas, a adequada avaliação da eficiência e eficácia das recomendações e seus impactos operacionais e econômicos, bem como a garantia da segurança operacional, ambiental e da salvaguarda da vida humana e a determinação de prazos factíveis para implementação. Sugerem a adoção de medidas que estabeleçam o controle pré-fronteira e chamam a atenção para a necessidade de minimizar as incertezas técnicas, regulatórias e metodológicas, ressaltando a ausência de capacidade instalada no País, atualmente, para atender a um grande volume de operações de remoção de bioincrustação.



## **CAPÍTULO 3**

TECNOLOGIAS DE  
CONTROLE, REMOÇÃO  
E PREVENÇÃO DE  
MACROINCRUSTAÇÃO  
EXISTENTES E EM  
DESENVOLVIMENTO

## 1. INTRODUÇÃO

Há duas vias associadas ao setor de navegação, passíveis de propiciar a disseminação de espécies exóticas invasoras marinhas: a água de lastro e a bioincrustação.

A questão da água de lastro vem sendo tratada pela Organização Marítima Internacional (*International Maritime Association* – IMO) no âmbito da Convenção Internacional sobre Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimento de Navios (BWM, 2005). É importante frisar que essa convenção entrará em vigor em 08/09/2017, decorridos 13 anos de sua adoção e longo período de discussão prévia, em virtude de ser difícil chegar a um consenso sobre tema tão complexo e em função dos impactos operacionais e financeiros decorrentes de sua adoção para toda a navegação mundial.

O debate internacional sobre bioinvasão por bioincrustação foi iniciado recentemente e ainda não há regulamentações uniformes estabelecidas de caráter obrigatório, de âmbito mundial. A IMO, até o momento, publicou um documento normativo de âmbito internacional, porém, de caráter recomendatório. Trata-se das “Diretrizes para o Controle e Gestão de Bioincrustação de Navios para Minimizar a Introdução de Espécies Exóticas Invasoras” (*Guidelines for the Control and Management of Ships’ Biofouling to Minimize the Transfer of Invasive Aquatic Species*, 2012). Esse documento, cujas discussões foram iniciadas em 2006, é oriundo de uma resolução (Resolution MEPC.207(62) de 15.7.2011) adotada pelo Comitê de Proteção ao Meio Ambiente Marinho – MEPC na 2ª sessão, após três anos de consulta com os seus Estados-Membros. Adicionalmente, foram emitidas duas circulares sobre o assunto. A primeira consistiu nas “Diretrizes para Minimizar a Transferência de Espécies Aquáticas Invasoras por Bioincrustação em Embarcações de Recreio” (MEPC.1/Circ.792), destinada aos proprietários e operadores de embarcações de recreio com menos de 24 m de comprimento que, de acordo com a IMO, podem ser um importante vetor para a transferência de espécies aquáticas invasoras, devido ao seu perfil de operação e por serem muito numerosas. A segunda circular foi destinada ao apoio aos Estados-Membros e observadores que desejam coletar informações para realizar futuras revisões das Diretrizes (MEPC.1/Circ.811).

Uma vez que as Diretrizes para o Controle e Gestão de Bioincrustação de Navios consistem em um documento recente, ainda há incertezas sobre a sua aplicação pela indústria marítima internacional. Contudo, ainda não foi definido se as recomendações serão incluídas em alguma convenção internacional, já que a temática da bioinvasão por bioincrustação marinha está emergente no âmbito global e será necessário um período de amadurecimento até que seja acordado um documento mandatário passível de implementação pelos diversos países e setores, diante da magnitude do impacto para o setor naval como um todo.

Cabe apontar, ainda, que a gestão dos riscos de biossegurança associada à bioincrustação é desafiadora. A decisão sobre possível adoção de técnicas de manejo deverá ser realizada considerando diversos fatores como: espécies presentes, estágio de colonização, localização da incrustação, se a estrutura é natural ou artificial, sensibilidade ambiental da região, eficácia do método de limpeza, riscos envolvidos com a ausência de manejo, os riscos do próprio manejo, riscos à salvaguarda da vida humana, interesse público e coletivo, aspectos operacionais e viabilidade de implementação, entre outros. É importante que qualquer medida adotada a respeito do manejo, gerenciamento e controle da bioincrustação considere uma avaliação sobre os riscos associados à permanência da incrustação e os riscos inerentes às diversas técnicas de manejo e limpeza de superfícies que seja subsidiada por pesquisas robustas. As opções de controle de bioincrustação em embarcações envolvem tratamentos para a redução ou remoção da biomassa e têm níveis variados de sucesso, podendo haver o uso combinado de diferentes tratamentos em alguns casos.

Este capítulo objetiva apresentar levantamento sobre as metodologias de remoção de incrustações existentes, tanto em operações fora da água como em operações subaquáticas,

considerando aspectos ambientais, de eficácia, de segurança, operacionais e logísticos.

## **2. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES NO BRASIL E NO MUNDO**

O levantamento foi realizado com base em informações oriundas de artigos científicos e documentos técnicos, sendo que os principais documentos técnicos internacionais consultados foram: Floerl et al. (2010); Inglis et al. (2012), Floerl et al. (2015) e Morrisey e Woods (2015), que trazem amplas revisões sobre o tema.

De forma geral, verifica-se que o contexto mundial atual foca na limpeza de casco de embarcações, não havendo metodologias específicas voltadas para a total remoção de bioincrustação em plataformas de petróleo, pela inexistência de necessidade de realizar tal remoção, à exceção de limpezas de pequenas áreas para fins de inspeção de integridade estrutural das instalações. Em suma, mundialmente, não é realizada limpeza completa de bioincrustação em plataformas de petróleo.

Salienta-se que muitas das tecnologias aqui apresentadas ainda não são aplicáveis em larga escala e outras se encontram em fase conceitual ou experimental.

A seguir são apresentadas as tecnologias de remoção identificadas.

### **A) TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE BIOINCRUSTAÇÃO FORA DA ÁGUA**

Para realizar operações de remoção da bioincrustação fora da água, as embarcações podem ser removidas do meio aquático por meio de reboques através de rampas de lançamento (carreiras), guinchos (*travellifts*, *syncrolifts*) e em diques secos (convencionais, flutuantes).

#### **Dique seco**

Navios grandes (> 80 m de comprimento) são normalmente tratados em diques secos (Figura 1), que consistem em bacias estreitas construídas de maneira que possam ser inundadas para permitir a entrada do navio. Após o fechamento da comporta, o dique é drenado fornecendo uma plataforma de trabalho seca para as operações (Inglis et al., 2012).

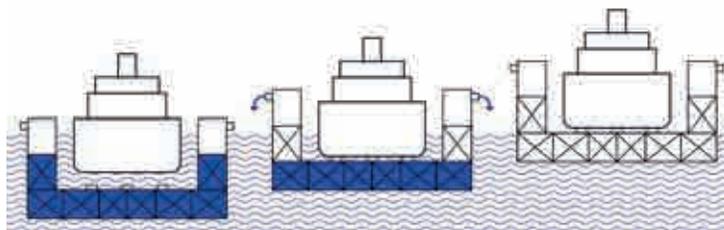
Há um número limitado de diques secos que comportam navios grandes, e sua utilização envolve custos elevados (Floerl et al., 2015). A utilização dessas instalações requer reserva antecipada devido à alta demanda desse tipo de infraestrutura. Cabe destacar que, no Brasil, somente os estaleiros de Rio Grande (RS) e de Inhaúma (BG) têm capacidade para docar unidades marítimas de grande porte como plataformas, sendo que este último tem restrições de acesso de embarcações com equipamentos com altura elevada para passagem sob a ponte Rio-Niterói.



**Figura 1** – Aspecto geral de um dique seco drenado possibilitando a realização de operações (construção, limpeza, reparo e pintura) - <http://worldmaritimeneews.com/archives/178799/spotted-cape-towns-dry-dock-gets-busy/>

### **Diques secos flutuantes**

Diques secos flutuantes (Figura 2) são embarcações móveis que possuem tanques de lastro que podem ser inundados fazendo a embarcação afundar, permitindo a entrada do navio a ser tratado. As câmaras são, então, esvaziadas fazendo com que o dique seco flutuante volte a emergir com o navio a ser tratado a bordo (Inglis et al., 2012).



**Figura 2** – Aspecto geral de um dique seco flutuante e seu modo de operação.

### **Carreiras e travel-lifts**

Embarcações menores, tais como as de recreio, são, geralmente, retiradas da água utilizando rampas de lançamento (carreiras) e equipamentos hidráulicos (*travel-lifts*) (Figura 3) que utilizam cintas sob o casco como suportes para suportar o peso da embarcação. A embarcação é, então, retirada da água por um conjunto de guias ou guinchos e pode ser movida para uma área próxima para manutenção (Floerl et al., 2015).



**Figura 3** – Travel-lift

No momento em que a embarcação é retirada da água para a limpeza, há o risco de que os organismos vágéis que habitam a comunidade bioincrustada escapem e que alguns organismos sésseis sejam desalojados. Coutts et al. (2010) utilizaram placas de assentamento para simular os efeitos da remoção de embarcação da água e verificaram que entre 8% a 20% dos organismos podem ser perdidos a partir das superfícies incrustadas quando removidas da água.

Uma vez que a embarcação tenha sido removida da água, os métodos de remoção da bioincrustação incluem remoção manual, hidrojateamento e dessecação.

### **Remoção Manual**

A remoção manual de bioincrustação (Figura 4) é realizada utilizando-se uma série de ferramentas de raspagem, de raspadores a pás. A raspagem manual pode ser realizada em vários tipos de embarcações, sendo mais adequada para embarcações pequenas. Segundo Floerl et al. (2010), a maioria das embarcações de recreio pode ser tratada em algumas horas. Em embarcações maiores, esse método é mais apropriado para níveis baixos de incrustação,

ou quando os organismos ocorrerem em pequenas manchas. O método é mais indicado para remoção de bioincrustação em superfícies contínuas, em oposição às estruturas angulares ou com reentrâncias. Durante o processo de remoção manual, deve-se ter cuidado para não danificar os revestimentos anti-incrustantes e devem ser tomadas precauções com a destinação adequada dos resíduos evitando-se o descarte no mar (Floerl et al., 2015).

A remoção manual da bioincrustação com a embarcação fora da água é mais eficaz do que na água, pois o operador pode identificar mais facilmente onde a bioincrustação ocorre, e a probabilidade de ignorar áreas com bioincrustação também é menor (Floerl et al., 2015).

A raspagem manual não é eficaz em remover bioincrustação em áreas de difícil acesso, como tubos de captação de água do mar, caixas de mar, propriamente ditas, e grades, a menos que cuidados especiais sejam adotados para tratar essas áreas (ex.: lavagem com detergentes ou produtos químicos – cloro ou, no caso de caixas de mar, através da remoção da grade externa para permitir o acesso ao seu interior). Além disso, fases iniciais de vida (novos recrutas, fases latentes, etc.) podem não ser removidas do casco, sobrevivendo e atingindo estágios adultos, a partir do retorno da embarcação para a água logo após a limpeza (Inglis et al., 2012).



Figura 4 – Remoção manual em embarcação mantida em dique-seco.

### **Hidrojateamento**

O hidrojateamento (Figura 5) é o método mais comum de remoção de bioincrustação de cascos de embarcações, sendo utilizado antes da manutenção ou substituição da pintura anti-incrustante. A água é pulverizada sob pressão (geralmente 2.000 até 8.000 psi), variando de acordo com o tipo e extensão da bioincrustação presente e o tipo de pintura anti-incrustante no casco (tintas à base de silicone necessitam de tratamento mais suave) (Floerl et al., 2015).

O hidrojateamento pode ser aplicado em uma variedade de embarcações, desde as de recreio até navios comerciais. Dependendo do tamanho da embarcação e da quantidade de bioincrustação presente, o processo de limpeza pode levar apenas algumas horas, no caso de embarcações de recreio (Floerl et al., 2010). Embarcações maiores requerem a permanência em rampa de lançamento (carreira), dique seco ou dique flutuante durante vários dias para a realização do procedimento (Floerl et al., 2015).



**Figura 5** – Hidrojateamento em casco de embarcação.

O hidrojateamento é uma técnica mais eficiente de remoção de grandes quantidades de bioincrustação de cascos de navios do que a remoção manual. Não é considerada eficaz para a remoção de incrustação em determinadas áreas, como tubos de captação de água do mar e grades, a não ser que cuidados particulares sejam tomados para tratar essas áreas (lavagem com detergentes ou produtos químicos – cloro) ou, no caso de caixas de mar, através da remoção da grade externa para permitir o hidrojateamento no seu interior. Além disso, deve-se tomar cuidado para tratar todo o casco para assegurar que as fases microscópicas das espécies que compõem a bioincrustação sejam removidas. Estas podem sobreviver e atingir estágios adultos se a embarcação for devolvida para a água logo após a limpeza. Tal como acontece com outros métodos de limpeza fora da água, alguns organismos podem ser perdidos ou desalojados durante a remoção da embarcação da água (Inglis et al., 2012).

A destinação correta dos resíduos gerados na limpeza por hidrojateamento deve ser considerada, pois fragmentos de muitos organismos são capazes de regeneração podendo provocar ou aumentar o estabelecimento dessas espécies na localidade (Paetzold & Davidson, 2010; Hopkins et al., 2011; Inglis et al., 2012).

De acordo com a *Commonwealth of Australia* (2015), a utilização do hidrojateamento subaquático não deve ser considerada para remoção de espécies invasoras a menos que todas as partículas viáveis possam ser recolhidas, incluindo os organismos intactos, propágulos e organismos unicelulares.

### **Dessecação**

A dessecação, ou secagem ao ar, é uma técnica em que a embarcação é retirada da água e deixada sobre um suporte até que toda a bioincrustação seja eliminada. Embora a dessecação seja mais utilizada para tratar a bioincrustação em equipamentos de aquicultura e pesca, essa técnica tem sido reconhecida como potencial para controlar a bioincrustação em cascos de embarcações (Inglis et al., 2012).

Segundo Inglis et al. (2012), o tempo necessário para que os organismos bioincrustantes morram quando expostos ao ar varia com as condições ambientais locais, tais como temperatura, umidade, precipitação e luz solar direta, e com a quantidade de organismos incrustados presentes. Grandes agregações de bioincrustação podem reter a umidade, o que permite que pequenos organismos sobrevivam. Embora alguns organismos de corpo mole morram rapidamente quando removidos da água, outras espécies são capazes de permanecer viáveis durante muitos dias. Por exemplo, gametófitos da macroalga *Undaria pinnatifida* podem permanecer viáveis por 2 - 3 dias a 10°C (Forrest & Blakemore, 2006). A ascídia *Styela clava* pode sobreviver à exposição aérea por até 6 dias, dependendo da temperatura ambiente (Coutts & Forrest, 2005). Espécies mais resistentes, como cracas e bivalves, podem permanecer viáveis durante períodos muito mais longos. Por exemplo, os mexilhões *Mytilus galloprovincialis* e *Perna perna* são capazes de sobreviver à exposição

aérea contínua por cerca de 7 dias, com quase nenhuma mortalidade (Branch & Steffani, 2004). Outras espécies, menos tolerantes, podem sobreviver entre a comunidade que forma a bioincrustação densa e que retém umidade. Hilliard et al. (2006) recomendaram que o período mínimo de exposição da bioincrustação ao ar em cascos de navios deve ser de 21 dias, com qualquer redução exigindo análise de especialistas em bioincrustação para avaliação caso a caso.

De acordo com Hilliard et al. (2006), a dessecação só é viável para embarcações com disponibilidade de permanecerem docadas por mais que 21 dias, pois períodos mais curtos de exposição aérea não eliminam o risco de biossegurança. Como a embarcação deve ser removida da água por várias semanas para garantir a mortalidade completa, a dessecação torna-se uma técnica de tratamento viável apenas para pequenas embarcações (Inglis et al., 2012). Remover embarcações maiores (> 30 m) da água por um longo período de tempo exige considerável espaço em rampa de lançamento ou permanência por muito tempo em dique seco, os quais têm grande demanda e alto custo diário para a sua utilização. Há também a perda de receita associada ao período prolongado de inatividade da embarcação (Floerl et al., 2015).

Contudo, as condições ambientais encontradas no litoral brasileiro, como altas temperaturas e ventos constantes, juntamente com a possibilidade de associação dessa técnica com outras, podem reduzir o tempo indicado na bibliografia, fato que reforça a necessidade de testes e pesquisas das aplicações das tecnologias de remoção e combinações entre elas em condições ambientais e logísticas encontradas na costa brasileira para uma adequada avaliação.

Hopkins et al. (2015) citam que as sondas de perfuração são as estruturas mais desafiadoras no que se refere ao manejo da bioincrustação devido, em primeiro lugar, ao tamanho da estrutura e sua propensão a acumular grande quantidade de bioincrustação, e, também, ao número restrito de instalações de dique seco compatíveis com esse tipo de estrutura.

Há um tipo de embarcação, o *Heavy Lift Vessel* (HLV) (Figura 6a, 6b), que possui a capacidade de elevar embarcações para realização de deslocamentos marítimos, sem a necessidade de que elas naveguem. Essa operação, por deixar o casco da embarcação fora da água, possibilita a eliminação da bioincrustação por dessecação. Todavia, cabe esclarecer que esse tipo de embarcação se apresenta em número limitado ao redor do mundo, sendo que a demanda internacional para sua utilização é bastante elevada e sua mobilização ocorre



Figura 6a – Uma sonda semissubmersíveis sendo transportada por um HLV (MAF, 2009).

de acordo com a necessidade e carteira. Além disso, a utilização de HLVs somente é viável economicamente para viagens longas (MAF, 2009). Também vale mencionar que a operação de soerguimento de embarcações em HLV somente pode ser realizada em áreas abrigadas e sob condições de batimetria adequadas.

Para sondas de perfuração, mesmo as semissubmersíveis, há impossibilidade de docagem em qualquer tipo de dique seco ou flutuante, bem como de transporte em HLV, em função da existência de *thrusters* e propulsores.



**Figura 6b** – Transporte de plataforma por um HLV  
(<http://www.amusingplanet.com/2012/05/heavy-lift-ships-and-their-impossibly.html>)

## **B) TÉCNICAS SUBAQUÁTICAS DE REMOÇÃO DE BIOINCRUSTAÇÃO (IN-WATER CLEANING)**

As técnicas subaquáticas de limpeza atuais apresentam as seguintes abordagens:

- remoção da bioincrustação do casco sem contenção de resíduos;
- remoção da bioincrustação do casco com contenção de resíduos (poucos equipamentos e com capacidade de remoção limitada a baixos níveis de incrustação);
- tratamentos que matam os organismos incrustantes *in situ* e dependem de movimento subsequente do navio através da água para soltar a bioincrustação do casco.

As categorias e subcategorias de técnicas subaquáticas de remoção de bioincrustação identificadas são:

### **Técnicas manuais:**

- escovas não motorizadas, raspadores, espátulas e esfregões;

### **Técnicas de remoção com equipamentos mecânicos:**

- equipamentos motorizados que utilizam escovas ou abrasivos;
- equipamentos de limpeza sem contato com a superfície;
- hidrojateamento;
- cavitação.

### **Técnicas de tratamento de superfície:**

- calor;
- ultrassom;
- navegação em água doce.

### **Técnicas de encapsulamento:**

- encapsulamento;
- invólucro.

### **Técnicas manuais**

A remoção subaquática de bioincrustação em embarcações é realizada usualmente por mergulhadores, utilizando uma variedade de ferramentas manuais, tais como espátulas, escovas, raspadores e, no caso de cascos com pinturas mais frágeis e incrustação leve, com esponjas e tecidos macios. Esse é um método eficaz para a remoção de alguns organismos, especialmente quando estão em áreas isoladas e podem ser contidos com um baixo risco de liberação de propágulos (Inglis et al., 2012).

Essa técnica é mais adequada para embarcações de recreio que podem ser tratadas em menos de um dia (Floerl et al., 2010). A remoção manual pode resultar na liberação de revestimentos anti-incrustação dos cascos, embora isso dependa do tipo de revestimento e a ferramenta utilizada (Floerl et al., 2015). Há, também, o risco de que alguns organismos (ou seus propágulos) retirados do casco ainda sejam viáveis, reforçando a importância da

captura e contenção eficaz dos resíduos (Inglis et al., 2012; Floerl et al., 2015).

Recentemente, no Brasil, foi utilizada a remoção manual com contenção de colônias de coral-sol no casco de uma plataforma do tipo FPSO (*Floating, Production, Storage and Offloading*, em inglês) em fase final de integração no Estaleiro BrasFELS, situado em Angra dos Reis (RJ). Essa remoção com contenção somente foi possível devido às seguintes condições: a) baixa densidade de incrustação de coral-sol no casco da unidade; b) unidade estava inoperante e em águas abrigadas; c) boas condições de visibilidade; d) possibilidade de mobilização de várias equipes de mergulho e disponibilidade de logística de apoio; e) disponibilidade de treinamento das equipes para manuseio de redes de contenção (prática inédita no Brasil); e f) possibilidade de contenção e correta disposição dos resíduos sólidos gerados. O anexo III A apresenta mais detalhes da operação.

### **Técnicas de remoção com equipamentos mecânicos**

Tecnologias mecânicas de limpeza subaquática incluem o hidrojateamento e equipamentos que utilizam sistemas de escovas rotativas. Os equipamentos de escovas rotativas são os sistemas mais comuns para limpeza de navios de guerra ou mercantes (incluindo navios de passageiros) (Inglis et al., 2012). Outros métodos subaquáticos de remoção mecânica incluem: equipamentos que criam forças de cisalhamento através de lâminas, hidrojateamento ou jatos cavitacionais sobre a superfície do casco. Esses métodos destinam-se a reduzir os efeitos adversos de abrasão em revestimentos anti-incrustantes, tanto para prolongar a vida do revestimento como para reduzir a quantidade de biocida que pode ser liberado na coluna de água (Morrissey & Woods, 2015).

- **Tecnologias baseadas em escovas ou abrasivos rotativos**

Os sistemas que utilizam escovas para limpeza de cascos são utilizados há várias décadas pela indústria de navegação mundial para remoção subaquática de bioincrustação de cascos de embarcações. Vários sistemas de escovas rotativas foram desenvolvidos: desde unidades portáteis, com escova única, operadas por mergulhadores até máquinas maiores, com várias escovas e mecanismos de movimentação da direção ao longo do casco (Akinfiyev et al., 2007; Bohlander, 2009; Inglis et al., 2012). Existem os seguintes tipos de sistemas: aparelhos portáteis; “carts” operados por mergulhador; equipamentos autônomos ou robôs e os operados remotamente.

Esses dispositivos geralmente alojam uma ou várias escovas movidas por sistema hidráulico (Floerl et al., 2013) e variam em tamanho, desde sistemas portáteis a grandes sistemas, como a plataforma submersível de manutenção e limpeza (Scamp) (Figura 7), com cerca de 2 m de diâmetro (Davidson et al., 2008a; Hopkins et al., 2008). O Scamp foi modificado para capturar resíduos em um teste para a Marinha dos E.U.A., tendo sido desmontado após a realização do teste. A versão atual do Scamp não incorpora sistema de contenção de resíduos (Hagan et al., 2014).



**Figura 7** – Plataforma submersível de manutenção e limpeza (Scamp)  
<http://www.scampnetwork.com/services/hull-cleaning>

De modo geral, nesses equipamentos são utilizados tipos diferentes de escovas, dependendo da incrustação biológica presente. Escovas de polietileno são utilizadas para remover biofilme, algas e organismos de corpo mole, enquanto as escovas de aço ou discos abrasivos são utilizados para remover organismos com concha ou esqueleto calcário (Akinfiiev et al., 2007; Inglis et al., 2012).

Esses equipamentos são capazes de remover bioincrustação de áreas planas ou ligeiramente curvas, tais como as superfícies gerais do casco, não sendo adequados para o tratamento de áreas-nicho ou áreas estruturalmente complexas (Davidson et al., 2008a; Hopkins et al., 2008; Inglis et al., 2012).

Segue um detalhamento dos aparelhos portáteis; “carts” operados por mergulhador e os operados remotamente.

### Dispositivos portáteis

São utilizados para remover bioincrustação de embarcações pequenas. Podem ser alimentados hidráulica (via sistema hidráulico da embarcação de apoio ou através de bombeamento de água do mar) ou pneumáticamente. Podem ser equipados com vários tipos de escova (silicone, polipropileno, nylon ou aço), lâminas cortantes ou discos abrasivos. Alguns dispositivos portáteis podem ser operados sem a necessidade de mergulhadores (Figuras 8 e 9) e a maioria dessas ferramentas não inclui sistemas de captação e de filtração de resíduos (Morrisey & Woods, 2015).



Figura 8 - Hulltimo Smart



Figura 9 - Scrubmarine - [http://www.scrubmarine.com/scrub\\_uk/Welcome.html](http://www.scrubmarine.com/scrub_uk/Welcome.html)

### “Carts” operados por mergulhador - “Brush carts”

Esses equipamentos podem ter mais do que um sistema de escovas e possuem capacidade de autopropulsão (o mergulhador conduz o equipamento e controla a força e a velocidade do sistema de escovas). A aderência à superfície do casco se dá pelo impulso de hélices ou pela sucção criada pelo fluxo de água através da unidade de limpeza. Esses equipamentos são alimentados hidráulicamente (via sistema hidráulico da embarcação de apoio ou através do bombeamento da própria água do mar) e podem ser equipados com vários tipos de escova (silicone, polipropileno, nylon ou aço), lâminas ou esponjas abrasivas (Morrisey & Woods, 2015).

Segundo Morrisey e Woods (2015), a maioria dos “brush carts” não incorporam sistemas de remoção e filtragem de resíduos, sendo exceções o Envirocart (Franmarine, Austrália) e o Eco Crawler Hull Cleaner (Underwater Contractors Spain - UCS, S.L., Espanha).

A empresa australiana Franmarine Underwater Services Pty Ltd. desenvolveu o “Envirocart” (Figura 10), um “brush cart” com discos rotativos duplos que podem ser equipados com escovas ou lâminas. Cada unidade de limpeza possui uma área de sucção protegida e totalmente fechada através da qual os detritos são bombeados para a embarcação de suporte ou para o tratamento no cais (Lewis, 2013). No entanto, o Envirocart ainda não pode ser utilizado em ambiente *offshore* nem para remover incrustações superiores a 8 cm de espessura.

O site da UCS (<http://www.ucspain.com/underwater-maintenance.php>) indica que o Eco Crawler Hull Cleaner captura todos os resíduos em um sistema de filtros, denominado UCS DUTS (*Direct Underwater Treatment System*), porém, não fornece maiores detalhes sobre o equipamento. No levantamento feito por Morrisey & Woods (2015), existe a informação de que Eco Hull Crawler possui três escovas rotativas, sendo que os equipamentos mais recentes possuem sistema de operação fechado com bombas de 200-bar em combinação com bombas hidráulicas de alto volume e sistema de filtros, não havendo detalhes sobre o sistema de filtros.



Figura 10 – Envirocart com sistema de tratamento de resíduos.

Com relação ao desenvolvimento de sistemas de remoção e tratamento de resíduos cabe apresentar uma observação de Morrisey e Woods (2015), que, durante contatos com fabricantes de equipamentos, verificaram que alguns deles indicaram a possibilidade de fornecer sistemas de contenção de resíduos se houvesse demanda de mercado suficiente, enquanto outros se mostraram céticos em relação ao desenvolvimento de tais sistemas, levando em consideração a sua praticidade ou se seriam economicamente viáveis.

Tecnologias alternativas ou modificadas, que permitam a contenção e tratem os resíduos, são mais caras do que os métodos tradicionais e não proporcionam ganhos econômicos aos armadores. Conseqüentemente, os mercados “naturais” para o desenvolvimento de

tecnologias subaquáticas de limpeza de casco com o objetivo de melhorar a eficiência da navegação e também reduzir problemas de invasão de espécies exóticas não existem. Sem essa demanda tem havido muito pouco esforço para desenvolver e comercializar essas tecnologias (Hagan et al., 2014).

### **Riscos de biossegurança associados aos sistemas de limpeza subaquática com escovas rotatórias**

Em uma revisão sobre os métodos de limpeza subaquática, Floerl et al. (2010) consideraram que:

- Nenhuma das tecnologias que utilizam escovas rotatórias é capaz de remover toda a bioincrustação e capturar todo o material removido, por consequência, a utilização desses sistemas resultará na perda de alguns organismos, potencialmente viáveis para o ambiente, como apontado por Woods et al. (2007) e Hopkins et al. (2008);
- A quantidade do material que não é removida da superfície do casco e/ou é perdida durante o processo de limpeza é proporcional à extensão da superfície bioincrustada antes da limpeza, como observado por Hopkins et al. (2008);
- A utilização de escovas é um método de limpeza muito abrasivo podendo causar danos à pintura do casco.

Como o método não propicia contenção, os resíduos de pintura removidos podem liberar componentes biocidas no ambiente, principalmente o cobre, uma vez que o uso de TBT (tributil-estanho) na composição das tintas é vedado (Valkirs et al., 2003; Schiff et al., 2004), logo, os autores atribuíram um alto risco de contaminação da água utilizando-se métodos de limpeza com escovas rotatórias.

### **Veículos autônomos ou operados remotamente**

Os dispositivos autônomos, com propulsão própria, se fixam à superfície do casco pelo impulso de hélices, pela sucção criada pelo fluxo de água através do sistema de limpeza, ou por magnetismo. O movimento e a atividade de limpeza são controlados a partir da superfície através de câmeras de vídeo e sistemas de posicionamento. A maioria dos sistemas disponíveis utiliza o hidrojateamento para limpeza, mas também existem sistemas de escovas rotativas disponíveis. Outros servem como plataformas de equipamentos para uma variedade de fins, incluindo a limpeza do casco. Variam em tamanho de pequenas unidades portáteis, para a limpeza de barcos de recreio, até unidades maiores projetadas para limpar embarcações comerciais (Morrissey & Woods, 2015).



**Figura 11** - Hulltimo Pro

Os modelos Hulltimo (Figura 11) usam uma escova rotativa com cerdas de poliamida e aderem ao casco por sucção. Eles são controlados por meio de um cabo e são projetados para remover a bioincrustação leve e recolher o resíduo em um saco de filtro removível (tamanho de malha de 100  $\mu\text{m}$ ) (Morrissey & Woods, 2015).

O U.S. Office of Naval Research (ONR) e a empresa Sea Robotics vêm desenvolvendo o BUG (*Hull Bio-mimetic Underwater Grooming*) (Figura 12), um robô para manutenção do casco limpo de navios da marinha, através de escovação leve (*grooming*). O BUG é livre de cabos, funciona com uma bateria e usa um sistema de vórtex para promover sucção para aderência ao casco. Outra característica inovadora do BUG é a presença de sensores que

permitem ao robô evitar obstáculos e identificar áreas de incrustação através da detecção de fluorescência da clorofila. O equipamento não incorpora um sistema de captura de resíduos (Morrissey & Woods, 2015).

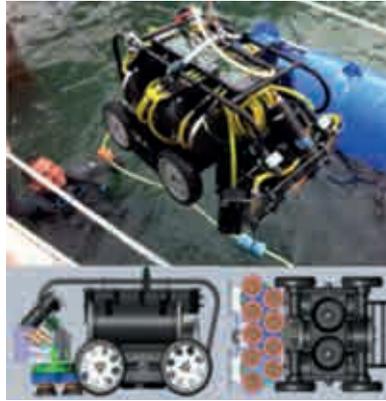


Figura 12 - BUB (Hull Bio-mimetic Underwater Grooming)

Inglis et al. (2012) citaram ainda que pelo menos quatro máquinas de limpeza do casco foram desenvolvidas em todo o mundo:

- 1) U.S. Navy Advanced Hull Cleaning System (AHCS);
- 2) o Scamp modificado – Seaward Marine Services;
- 3) o sistema Hismar – Reino Unido;
- 4) CleanROV, um sistema norueguês.

Esses equipamentos foram projetados para remover incrustação leve a moderada de áreas grandes e acessíveis do casco. Apenas uma das máquinas de limpeza, o AHCS, incorporava um sistema de captação e tratamento de água e os resíduos removidos do navio. Segundo Bohlander (2009), o AHCS estava passando por testes de campo e não estava disponível comercialmente na época. Revisões mais recentes (Morrissey & Woods, 2015; Floerl et al., 2015) não fazem menção ao AHCS, ao Hismar nem ao CleanROV.

### Sistemas mecânicos sem contato com a superfície

Os sistemas mecânicos de limpeza sem contato utilizam as forças de cisalhamento geradas pelo fluxo turbulento para remover a bioincrustação (Lewis, 2013). Essas tecnologias foram desenvolvidas devido à preocupação com os danos aos revestimentos anti-incrustantes e o avanço da regulamentação sobre a descarga de resíduos de tinta com biocida no ambiente (Lewis, 2013; Morrissey & Woods, 2015).

Atualmente existem dois sistemas operados por mergulhadores disponíveis, o “cart” Mini-pamper (Figura 13) e o “Twin Brush Machine”, que utilizam escovas em contrarotação para gerar a sucção que mantém o equipamento aderido ao casco. A força de sucção gerada pelas escovas é transferida para o chassi do equipamento e não para a superfície do casco e, portanto, não danificam sua pintura (Morrissey & Woods, 2015).

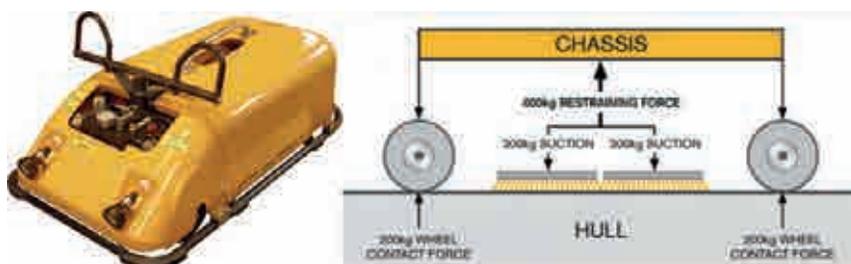


Figura 13 - Mini-pamper UMC International website ([www.umc-int.com/](http://www.umc-int.com/))

A Franmarine Underwater Services desenvolveu uma modificação em sua unidade de limpeza Enviocart para implementação do sistema de limpeza sem contato. Os discos rotativos no interior do aparelho foram equipados com lâminas, em vez de escovas convencionais. As lâminas geram forças que desalojam a bioincrustação da superfície. O aparelho pode ser operado em modo de contenção no qual os sólidos maiores que 5 µm podem ser contidos utilizando um conjunto de filtros. A filtração de sólidos maiores que 12,5 µm foi obtida em ensaios do equipamento (Morrisey & Woods, 2015).

Da mesma forma que os sistemas de escovas mecânicas, os sistemas sem contato são eficazes para operações em superfícies planas e homogêneas e, geralmente, inadequados para tratar superfícies curvas ou estruturalmente complexas (Floerl et al., 2015).

### Sistemas “cart” com hidrojateamento

Da mesma forma que os sistemas de escovas rotativas, os sistemas de hidrojateamento incluem aparelhos portáteis; “carts” operados por mergulhador; equipamentos autônomos ou robôs e os operados remotamente a partir da superfície (Morrisey & Woods, 2015).

O *Cybernetix Magnetic Hull Crawler* (Figura 14) é um equipamento operado remotamente, equipado com magnetos que permitem movimentação subaquática e fora da água, utiliza jatos a 1.000 bar (100.000 kPa) para limpeza de cascos (Morrisey & Woods, 2015). O equipamento não possui sistema de captação de resíduos. Além da limpeza, também faz inspeção do casco (<http://www.cybernetix.fr/wp-content/uploads/2016/05/MHC-Product-Fact-Sheet-EN-Dec-2015.pdf>).

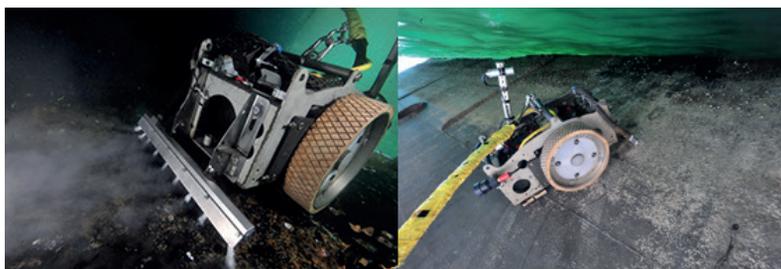


Figura 14 - Cybernetix Magnetic Hull Crawler

Dois sistemas noruegueses com contenção de resíduos estão em produção, o ECOsubsea (Figura 15) e o veículo de limpeza subaquática Hullwiper ROV (Figura 16), ambos projetados para tratar bioincrustação em estágios iniciais de desenvolvimento (algas e organismos de corpo mole), sem causar danos aos revestimentos anti-incrustantes subjacentes (Floerl et al., 2015).

Segundo Morrisey e Woods (2015), o sistema ECOsubsea incorpora um sistema de captação de até 95% dos resíduos removidos e de filtração de partículas de tamanho mínimo

de 150 µm. Vale destacar que esses valores foram obtidos em testes baseados em simulação de bioincrustação, e utilizaram-se painéis de aço com pintura látex contendo partículas de madeira em vez de



bioincrustação verdadeira (Liltved, 2012).

Figura 15 - ECOsubsea



Figura 16 – Hullwiper ROV

O fabricante do Hullwiper afirma que o equipamento é capaz de coletar os resíduos em uma unidade de filtração especial, permitindo realizar sua destinação de uma forma ambientalmente amigável em vez de ser descarregado no mar, como é feito usando métodos tradicionais (<https://www.gac.com/shipping/hull-cleaning-solution/>), sem, entretanto, apresentar evidências do método utilizado (Morrisey & Woods, 2015).

Os tempos de tratamento desse tipo de equipamento são, provavelmente, similares às unidades básicas de limpeza à base de escova. Um fabricante estima que 800-1.000 m<sup>2</sup> da superfície do casco pode ser tratada por hora, sendo necessárias 5 horas para limpar um navio de 140 m de comprimento e 8 m de calado (Floerl et al., 2010). De acordo com Floerl et al. (2015), porém, esses sistemas na concepção atual são inadequados para a limpeza de superfícies complexas.

### Cavitação

A cavitação é um aperfeiçoamento do método de hidrojateamento tradicional, em que bolhas microscópicas de ar e vapor, geradas por ultrassom, são incorporadas ao jato de água. O colapso dessas bolhas gera a ação de limpeza, criando pressões muito altas e localizadas que removem a bioincrustação, ferrugem e pintura esfoliada, sem prejudicar o revestimento subjacente. Assim como os sistemas de limpeza sem contato, a cavitação foi desenvolvida para reduzir os danos aos revestimentos anti-incrustantes e, também, para reduzir o perigo das altas pressões do hidrojateamento para os operadores (Morrisey & Woods, 2015). A pressão do jato de água por cavitação (120-150 bar/12,000-15,000 kPa) é significativamente menor do que a utilizada na limpeza convencional por hidrojateamento.

Há várias ferramentas disponíveis, incluindo pistolas de mão, equipamentos (*carts*) operados por mergulhador e de autopropulsão, e sistemas robotizados em desenvolvimento. Além disso, os sistemas de cavitação podem ser instalados em ROVs para remoção de bioincrustação sem utilização de mergulhadores. Da mesma forma que o hidrojateamento tradicional, os jatos cavitacionais permitem um melhor acesso para limpeza de áreas restritas e de nicho do que as ferramentas de escovas rotativas.

Os tempos de tratamento são semelhantes aos do hidrojateamento tradicional e aos sistemas de escovas rotativas. Estima-se que equipamentos do tipo “*cart*” operados por mergulhador podem tratar até 1.500 m<sup>2</sup>/h de bioincrustação por algas e 600 m<sup>2</sup>/h de incrustação de organismos com estrutura calcária (cracas) (Floerl et al., 2010).

Entretanto, os jatos cavitacionais podem não matar a incrustação após sua remoção da superfície do casco, o que pode levar a riscos de liberação de propágulos ou fragmentos de organismos capazes de regeneração (Floerl et al., 2015), como é o caso do coral-sol.

Morrisey e Woods (2015) citam que sistemas de aspiração para recolher resíduos são incorporados nas unidades maiores de pelo menos um fabricante, não havendo referência de que esses sistemas tenham processos de filtração. No site da Cavi-jet Technology, há somente referência a um sistema, ainda em desenvolvimento, para “coleta, transporte e utilização” de incrustação e partículas de revestimento anticorrosão.

A metodologia não é seletiva, retirando todos os outros organismos incrustados, e não há contenção de resíduos, o que aumenta o risco de biossegurança com a dispersão de

fragmentos. Como apontado por Floerl et al. (2005), a superfície de cascos que tiveram a bioincrustação removida, mas que não possuem tratamento com pintura anti-incrustação, possibilita a intensificação do recrutamento. Os autores também verificaram seis vezes mais recrutamento sobre superfícies limpas mecanicamente do que naquelas tratadas quimicamente, ou nas que possuíam comunidade incrustante instalada. Organismos coloniais incrustantes podem sobreviver à limpeza de superfícies fortemente incrustadas e em seguida crescer novamente e tornar a se reproduzir sexuadamente ou por fragmentação (Davidson et al., 2008a).

Placas basais e conchas de organismos com estruturas calcárias que permanecem na superfície após a limpeza podem propiciar novos recrutamentos por indução química (Anil et al., 2010).

### Sistemas de aspiração a vácuo

Sistemas subaquáticos de aspiração a vácuo (Figura 17) consistem geralmente de uma cabeça hidráulica operada por mergulhador e são normalmente utilizados em conjunto com outros métodos de tratamento. Modificações na cabeça de sucção, incluindo o uso de ferramentas de corte ou escovas rotativas, podem ser utilizadas para desalojar os organismos que têm fortes ligações basais à superfície tratada. Esses sistemas encontram-se em fases experimentais, porém, não apresentaram bons resultados, conforme apresentado na revisão de Floerl et al. (2015) a seguir.

Esse método foi testado na Nova Zelândia durante a tentativa de remoção da ascídia *Didemnum vexillum* e do poliqueta do Mediterrâneo *Sabella spallanzanii* em embarcações fortemente incrustadas. A remoção de 473 kg de ascídias foi realizada ao longo de dois dias e houve filtração a 50 µm para minimizar a liberação de quaisquer larvas presentes (Coutts, 2002). O método foi considerado muito trabalhoso e ineficaz para ser utilizado em ações de biossegurança de rotina (Coutts, 2002).

Mais recentemente, um tratamento combinado de remoção manual com aspiração foi testado durante uma ação de remoção do poliqueta *Sabella* em Coromandel Harbour, Nova Zelândia. Mergulhadores removeram manualmente os poliquetas do casco da barcaça depositando-os diretamente em uma mangueira de vácuo conectada a um equipamento de filtração especializado. Embora inicialmente promissora, a técnica mostrou-se muito demorada porque o equipamento de filtragem não era confiável e a operação era frequentemente interrompida para resolver problemas de entupimento da bomba e problemas com sacos do filtro (Hodges & Simmons, 2013).

Segundo Floerl et al. (2015), os tempos de tratamento variam de acordo com o tamanho do navio, o nível e tipo de cobertura de bioincrustação presente. Os sistemas de aspiração a vácuo são mais eficazes na remoção de organismos de corpo mole, tais como grandes ascídias, esponjas e algumas espécies de macroalgas. No entanto, o sistema não é eficaz na remoção de organismos fortemente fixados, tais como cracas, poliquetas tubícolas e bivalves cimentantes (Floerl et al., 2010).



Figura 17 – Sistemas subaquáticos de aspiração a vácuo para remoção de *Didemnum vexillum*.

## **Riscos de biossegurança apresentados por métodos subaquáticos de limpeza de bioincrustação**

A maioria dos métodos subaquáticos de limpeza de bioincrustação disponível não é capaz de conter os organismos removidos, nem de tratar a água antes que seja liberada para o meio. Como resultado, as tecnologias atuais podem contribuir em vez de reduzir os problemas de invasão por espécies exóticas (Hagan et al., 2014). A remoção mecânica não é recomendada para espécies frágeis capazes de regenerar a partir de fragmentos (tais como diversos poliquetas e organismos coloniais) (Commonwealth of Australia, 2015).

### **Liberção de organismos viáveis**

A perturbação física sobre a bioincrustação causada por métodos de remoção subaquática pode propiciar a liberação de gametas ou propágulos viáveis (Coutinho et al., 2013). Caso isso ocorra, a remoção da bioincrustação pode aumentar os riscos de biossegurança. Organismos inteiros ou fragmentos que compõem a bioincrustação que sejam desalojados durante a remoção podem sobreviver e se estabelecer no ambiente (ANZECC, 1996).

Hopkins e Forrest (2008) consideraram o fato relevante para métodos de remoção sem contenção de resíduos. No entanto, os autores verificaram em um experimento, que, mesmo equipamentos com retenção de resíduos, organismos intactos podem ser desalojados do casco e liberados no ambiente durante a limpeza. No experimento foram testados dois sistemas de escovas rotativas operados por mergulhador em uma embarcação incrustada e em placas de assentamento (placas planas e placas curvas simulando o casco de um navio) com vários níveis de bioincrustação. Nas tentativas iniciais, até 12% do material removido não foi contido, sendo a retenção menor quando o equipamento limpava superfícies curvas. A maior parte da bioincrustação não capturada foi triturada e fragmentada, no entanto, organismos viáveis (cracas e hidroides) estavam sempre presentes. Além disso, com o nível maior de bioincrustação, organismos calcários resistiam às escovas rotativas e permaneciam relativamente intactos nas superfícies experimentais. Outras fontes de risco identificadas no estudo incluem a remoção não intencional de organismos incrustados pela operação do mergulhador (ação das nadadeiras), ou por componentes do equipamento (cabos e mangueiras).

A questão dos fragmentos no caso do coral-sol é de extrema importância, visto que Capel et al. (2015) verificaram que fragmentos de 2 mm são capazes de se regenerar, e concluíram que a capacidade de regeneração aumenta as chances de o coral-sol sobreviver a danos e representa um fator imprescindível a ser considerado em estratégias de manejo e controle da espécie. Luz et al. (2016) também verificaram a capacidade de regeneração do coral-sol a partir de fragmentos.

### **Estímulo à recolonização**

A remoção da bioincrustação de embarcações sem a reaplicação de tinta anti-incrustação pode tornar a superfície limpa mais suscetível à nova bioincrustação, aumentando o risco de biossegurança futuro. Floerl et al. (2005) verificaram que, em uma região tropical da Austrália, os cascos limpos de embarcações apresentaram até seis vezes mais recrutamento do que superfícies que possuíam comunidades bioincrustantes íntegras e aquelas que foram esterilizadas quimicamente. Algumas teorias podem explicar o fato:

- a) a liberação de pistas químicas ou físicas que favoreçam o assentamento de larvas durante o processo de limpeza;
- b) quando existe uma comunidade bioincrustante, pode haver predação de larvas que venham assentar;
- c) larvas evitariam assentar em locais com bioincrustação; e

d) a presença da bioincrustação poderia prover resistência contra o recrutamento devido à ocupação do espaço.

### Tratamentos de superfície

As tecnologias de tratamento de superfície têm como objetivo matar a bioincrustação presente nos cascos de embarcações, sem, contudo, remover a biomassa (Floer et al., 2015). Essas tecnologias consistem em tratamento térmico, tratamento em água doce e ultrassom.

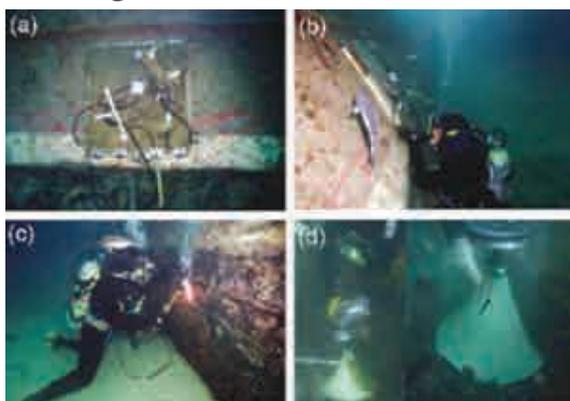
### Tratamento térmico

O tratamento térmico é utilizado para impedir o crescimento da bioincrustação em cascos de navios, nos sistemas de resfriamento das usinas, em conchas de bivalves cultivados em *habitats* naturais (Wotton et al., 2004; Aquenal, 2007; Blakemore & Forrest, 2007; Hunt et al., 2009). O tratamento térmico também tem sido utilizado para tratar organismos viáveis em sistemas de água de lastro dos navios (Floerl et al., 2015).

Existe uma única ferramenta de tratamento térmico disponível comercialmente na Austrália, e pelo menos dois protótipos foram desenvolvidos para o tratamento de incrustação biológica em embarcações utilizando calor (choque térmico). Ambos os protótipos foram concebidos para utilização em embarcações com casco de aço (Inglis et al., 2012).

Na Nova Zelândia, o sistema “*Hot water box*” (Figuras 18 a, b) foi desenvolvido pela empresa de mergulho New Zealand Dive & Salvage Pty Ltd. para tratar o casco de um barco de pesca, bioincrustado pela alga invasora *Undaria pinnatifida*, que afundou em águas costeiras nas Ilhas Chatham (Wotton et al., 2004). O sistema consistia de uma caixa de madeira com um único lado aberto, o qual era colocado sobre o casco do navio. Vedações de espuma na abertura da caixa criavam um ambiente confinado dentro desta que continha resistências para o aquecimento. As resistências eram alimentadas por um gerador na embarcação de suporte aquecendo a água no interior da caixa até uma temperatura de 70°C. A área do casco era coberta pela caixa e em seguida tratada durante 10 minutos. Mergulhadores utilizaram uma tocha subaquática (Fig. 18c) para tratar as áreas curvas e rebaixadas do casco onde não era possível a aplicação de calor com as caixas (Inglis et al., 2012).

Blakemore e Forrest (2007) também testaram um sistema para controlar *Undaria*, que utilizava vapor ou água quente gerados por um limpador a vapor industrial na superfície e que, através de um cone de silicone, (Figura 18 d) aplicava e mantinha a água quente sobre o substrato. A taxa de aquecimento alcançava temperatura máxima de 55°C e as taxas de sobrevivência de *Undaria* nas superfícies tratadas foram de 0-6%, e as da macroincrustação foram de 9% e 15% para superfícies planas e irregulares, respectivamente. Os autores consideraram que a técnica não era suficientemente consistente para o controle da alga em superfícies irregulares, mas que para superfícies planas, como casco de embarcações, poderia ter maior potencial quando comparado ao sistema de resistência elétrica (aquecimento mais lento da água).



**Figura 18** - (a) e (b) A “*Hot water box*” desenvolvida para remover a alga *Undaria pinnatifida*. (c) Tocha subaquática usada para matar a alga em superfícies angulares ou irregulares do casco. (d) Sistema para controlar *Undaria*, através da aplicação de água quente por um cone de silicone (Floerl et al., 2010).

O *Australian Hull Surface Treatment* (HST) (Figura 19), comercializado na Austrália, é a única ferramenta de tratamento térmico disponível comercialmente (Floerl et al., 2015). É constituída por um “aplicador térmico” (dimensões protótipo corrente: 2,5 x 1,5 m) que se fixa ao casco do navio utilizando ímãs. As áreas do casco e a bioincrustação contidas no interior do aplicador térmico são expostas à água a 70°C fornecida por uma unidade de caldeira a diesel a bordo de uma embarcação de suporte. O tempo de exposição é de aproximadamente 4 segundos, o que é suficiente para matar algas e cracas recém-assentadas. O aplicador térmico muda automaticamente de posição usando um sistema de rodas, sendo operado a partir da embarcação de suporte, sem a necessidade de mergulhadores. A Commercial Diving Services Pty Ltd também está desenvolvendo um dispositivo portátil operado por mergulhador (*HST Niche Applicator* – HSTNA) que usa a mesma tecnologia para o tratamento de áreas-nicho de navios, as quais não podem ser tratadas usando o HST (Inglis et al., 2012).

O HST foi projetado para remover somente o biofilme e a incrustação de algas em cascos de embarcações. O objetivo do uso do HST é preventivo, removendo as fases iniciais da bioincrustação (biofilme e bioincrustação de algas) e impedindo o desenvolvimento de comunidades bioincrustantes complexas. O HST não foi desenvolvido para matar e remover bioincrustação complexa, tais como as que contêm cracas, poliquetas tubícolas e bivalves maduros (Floerl et al., 2015).

As tecnologias de tratamento térmico podem, teoricamente, ser aplicadas em vários tipos e tamanhos de embarcações, embora, atualmente, sejam restritas aos navios maiores. O tempo de tratamento varia de acordo com nível da cobertura de bioincrustação. Os operadores do sistema HST afirmam que o tratamento de um navio de 200 m leva 16 horas (dois turnos de 8 horas), utilizando uma unidade, ou uma operação única de 12 horas utilizando uma unidade em cada lado do casco (Floerl et al., 2015).

A eficácia do tratamento se dá em poucos segundos quando a temperatura é de aproximadamente 60°C ou superior, mas pode levar mais de 10 minutos a uma temperatura de cerca de 40°C. A morfologia do organismo afeta significativamente o êxito, sendo que organismos com estruturas calcárias (cracas, poliquetas tubícolas e ostras) são mais tolerantes do que organismos de corpo mole. O tratamento térmico não remove organismos bioincrustantes do casco, mas simplesmente os mata. Os organismos mortos caem do casco logo após o tratamento ou são desalojados pela turbulência e arrasto quando a embarcação deixa o porto (Floerl et al., 2015).



Figura 19 – Hull Surface Treatment (HST)

Tanto o “Hot water box” como os sistemas de HST foram projetados para matar e remover biofilme e incrustação de algas em navios de casco de aço. Não se destinam a tratar bioincrustação pesada e a sua eficácia para a remoção de agregados de invertebrados sésseis e macroalgas é desconhecida. Grandes organismos, móveis, associados à bioincrustação não serão tratados de forma eficaz. Os desenvolvedores do HST afirmam que a versão operada por mergulhador, o HSTNA, é capaz de matar comunidades bioincrustantes complexas, no entanto, testes independentes dessas unidades ainda não estão disponíveis (Inglis et al., 2012).

Os desenvolvedores do HST afirmam que não há efeito sobre os revestimentos anti-incrustantes de navios mercantes, mas a afirmação não é corroborada pelos fabricantes de tintas anti-incrustação e nem está claro se o tratamento térmico prejudica os revestimentos utilizados por embarcações de recreio ou fibra de vidro e superfícies de resina de seus cascos (Morrisey & Woods, 2015).

### Tratamento em água doce

A imersão em água doce tem sido sugerida como um tratamento contra bioincrustação, por exemplo, pela navegação em ambiente de água doce, como um rio, ou a permanência em um ambiente artificial confinado construído (Inglis et al., 2012).

Segundo Inglis et al. (2012), existem dois exemplos publicados do uso de navegação em ambientes de água doce como um tratamento contra a bioincrustação marinha. Ambos os estudos (Brock et al., 1999; Davidson et al., 2008b) relatam alguma redução (mas não total) no risco de biossegurança.

Brock et al. (1999) descreveram o movimento do navio de guerra USS Missouri no Rio Columbia, em Oregon, por nove dias antes de partir para o Havaí. Após o período de imersão em água doce e subsequente viagem para o Havaí, 90% do casco ficou livre de organismos incrustantes. Onze espécies foram encontradas vivas, das quais quatro, provavelmente, eram da comunidade original. Uma dessas espécies, o mexilhão *Mytilus galloprovincialis*, posteriormente, estabeleceu uma população em Pearl Harbour (Apte et al., 2000).

Davidson et al. (2008b) analisaram as assembleias de incrustação biológica em duas embarcações fortemente incrustadas, antes e depois de passarem pelo Canal do Panamá. Apesar de estarem em ambientes de água doce no canal por cerca de sete dias, nove dos 22 táxons registrados antes da travessia estavam presentes após a passagem pelo canal.

A eficácia de imersão em água doce dependerá das espécies presentes na bioincrustação e a duração da imersão (Inglis et al., 2012). Algumas fases da vida de invertebrados e macroalgas são mortas por períodos de imersão menores que 24 horas (Coutts & Forrest, 2005; Forrest & Blakemore, 2006). Fases da vida resistentes e algumas espécies podem levar muito mais tempo para morrer. Forrest e Blakemore (2006) mostraram que os gametófitos da alga marinha asiática *Undaria pinnatifida* podem sobreviver à imersão em água doce por até dois dias e que mexilhões juvenis (*Perna canaliculus*) sobreviveram por mais de 5 dias imersos em água doce.

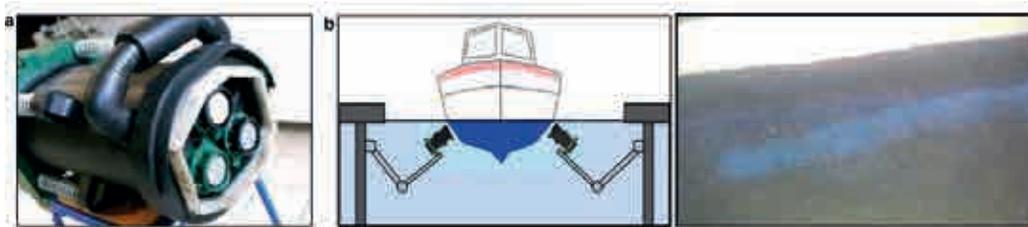
Inglis et al. (2012) apontam que os exemplos apresentados por Brock et al. (1999) e Davidson et al. (2008b) indicam a necessidade de permanência da embarcação em água doce entre 7 a 14 dias para garantir que toda a comunidade bioincrustante marinha esteja morta. Além disso, pode haver um risco de biossegurança adicional associado ao movimento em água doce, pois para algumas espécies marinhas, mudanças bruscas de temperatura e salinidade da água podem provocar a eliminação de gametas.

### Tratamento com ultrassom

O ultrassom consiste de ondas de pressão sonora com frequência maior do que o limite superior da audição humana (normalmente > 20 kHz) e é utilizado para limpeza em indústrias de tratamento de superfície (Mazue et al., 2013). As frequências de ultrassom inibem a incrustação biológica de diferentes maneiras: pela elevação da temperatura, pela força induzida gerada pela onda ultrassônica, por cavitação, ou através de uma combinação desses mecanismos (Guo et al., 2011). Em testes de laboratório, a cavitação provocou a inibição do crescimento bacteriano, assentamento de cracas e a remoção de algas e biofilmes. A cavitação ocorre a pressões acústicas relativamente altas (> 20 kPa) e é muito mais forte em frequências mais baixas de ultrassom (19-23 kHz) (Guo et al., 2011). Larvas de cracas são mortas em períodos relativamente curtos (5 minutos) de exposição a essas pressões acústicas elevadas (Seth et al., 2010; Guo et al., 2011). No entanto, a cavitação não ocorre a baixa pressão acústica (<5 kPa), e Guo et al. (2012) mostraram que larvas de cracas não foram mortas por frequências de som de 23 kHz ou superiores.

Mazue et al. (2011) testaram uma estação experimental de limpeza por ultrassom onde dois dispositivos de limpeza foram colocados de cada lado de uma embarcação de 15 metros

de comprimento movendo-se lentamente ao longo do casco. Cada dispositivo era composto por um conjunto de *transponders* de ultrassom cercado por uma escova. Conforme a incrustação era removida, esta ia sendo dirigida pela escova para um sistema de aspiração para recolhimento e tratamento. No artigo não há detalhamento do nível de bioincrustação, porém, a figura apresentada no artigo indica bioincrustação leve (Figura 20).



**Figura 20** – a) Dispositivo de limpeza, b) estação de limpeza com dois dispositivos, c) teste realizado em casco de embarcação (Mazue et al., 2011).

Uma série de empresas atualmente comercializam transdutores para instalação no casco de embarcações prometendo impedir o recrutamento e o estabelecimento de organismos incrustantes. Essas técnicas comercialmente disponíveis não foram avaliadas quanto à sua capacidade de remover incrustação e não são atualmente comercializadas para esse fim (Morrisey et al., 2015).

O Conselho Regional Northland da Nova Zelândia conduziu testes sobre os efeitos do ultrassom no poliqueta *Sabella spallanzanii*. Em ensaios iniciais de laboratório, houve 100% de mortalidade de indivíduos adultos de *Sabella* após três dias de tratamento. No entanto, o efeito potencial do tratamento com ultrassom foi confundido com os efeitos da temperatura da água e da concentração de oxigênio dissolvido. Testes subsequentes em aquários maiores (3.000 l) e com água do mar em fluxo não mostraram efeitos sobre a mortalidade. Todos os poliquetas estavam vivos e, aparentemente, saudáveis após cinco dias submetidos ao ultrassom, o que sugere que a temperatura e concentração de oxigênio podem ter causado os efeitos observados no primeiro estudo (Morrisey et al., 2015).

### **Tecnologias de encapsulamento**

As tecnologias de encapsulamento utilizam tecidos impermeáveis (lona de polietileno) para envolver o casco de embarcações ou estruturas artificiais (pilares de pír), a fim de impedir o fluxo de água entre a área em torno da superfície revestida pelo invólucro e o ambiente, criando, assim, condições tóxicas para os organismos incrustados. Enquanto as espécies incrustantes são privadas de alimento e luz, a respiração continuada e a decomposição de organismos esgotam o oxigênio dissolvido na água, criando um ambiente anóxico para os organismos no interior do invólucro. Biocidas presentes no revestimento anti-incrustante da embarcação também podem contribuir para a mortalidade dos organismos. Quando corretamente implantado, o envoltório é eficaz em matar as espécies bioincrustantes e suas larvas, embora cuidados devam ser tomados para garantir que os organismos não sejam desalojados durante a instalação do envoltório. O encapsulamento não remove a incrustação biológica, os organismos são mortos e permanecem no local (Inglis et al., 2012).

A mortalidade dos organismos incrustantes no interior do envoltório pode ser acelerada por meio da adição de biocidas (cal, ácido acético, sulfato de cobre e hipoclorito de sódio) (MAF, 2009). Os biocidas podem ser preparados em tanques em terra e circulados por meio de bombas ao redor da embarcação encapsulada e, em seguida, bombeados de volta para os tanques para reduzir o uso de produtos químicos (Inglis et al., 2012).

O método também se aplica ao tratamento de áreas-nicho da embarcação, incluindo o interior das caixas de mar e ao redor de hélices sem a necessidade de desmontagem

(Morrisey & Woods, 2015).

A utilização do encapsulamento é mais eficaz contra recrutas ou pequenos indivíduos, sendo que organismos maiores com estruturas calcárias (cracas e bivalves) podem ser mais resistentes à exposição de curto prazo às condições anóxicas, podendo necessitar de períodos mais longos de tratamento (Floerl et al., 2015). Cuidados devem ser tomados para garantir que o envoltório não rasgue em contato com estruturas afiadas na embarcação ou cais (Inglis et al., 2012; Floerl et al., 2015). Dificuldades comprometendo o isolamento promovido pelo envoltório muitas vezes surgem quando este tem que permanecer no local por longos períodos, especialmente quando há correntes ou ondas fortes no local. A ação de ondas pode danificar os invólucros de plástico, reduzindo a eficácia e potencialmente criar risco para o ambiente (Floerl et al., 2015).

## **CASOS DE APLICAÇÃO DO ENCAPSULAMENTO EM EMBARCAÇÕES**

### **Tratamento de *Didemnum vexillum* e *Styela Clava* na Nova Zelândia**

Como parte de um programa de erradicação da ascídia *Didemnum vexillum*, espécie considerada invasora na Nova Zelândia, 27 embarcações (entre 7 e 30 metros de comprimento) (Figura 21) foram encapsuladas em Queen Charlotte Sound (Nova Zelândia). Cada embarcação teve seu casco envolvido com lonas de polietileno. No espaço contido pelo envoltório foi adicionado ácido acético para uma concentração de trabalho de 5%. As embarcações permaneceram encapsuladas por sete dias, com 100% de sucesso no tratamento (Pannell & Coutts, 2007; Coutts & Forrest, 2007). Não houve tratamento do volume contido pelo envoltório. Com a retirada do tecido, o volume contido pelo envoltório e o material desprendido foram liberados no ambiente apesar de todos os esforços empregados, a ascídia *D. vexillum* acabou se alastrando pela região causando prejuízos às fazendas de mexilhão da localidade (Coutts & Forrest, 2007).



**Figura 21** – Embarcações encapsuladas em Queen Charlotte Sound na Nova Zelândia, como parte de um programa de erradicação da ascídia *Didemnum vexillum*.

### **Encapsulamento da Fragata “*the Canterbury*” na Nova Zelândia**

Em 2007, a agência de biossegurança da Nova Zelândia testou a técnica de encapsulamento em uma fragata de 113 m de comprimento (Figura 22), antes do naufrágio deliberado da embarcação para se transformar em um local de mergulho. A operação envolveu mergulhadores e pessoal de superfície baseados em um navio de apoio. A operação de encapsulamento levou 1,5 dia e, durante o processo de instalação, a lona plástica rasgou em vários lugares e teve de ser reparada por mergulhadores. O encapsulamento foi deixado no local durante 11 dias (incluindo o tempo de instalação), quando um rasgo de 30 m de comprimento causado pelo contato do tecido com o cais adjacente foi descoberto no tecido. O material do encapsulamento foi removido da água por um guincho com capacidade para 25 toneladas (Floerl et al., 2010).

Durante o tratamento, amostras de água contidas pelo encapsulamento eram analisadas

para oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal e nitrato. O nível de oxigênio caiu após o segundo dia de tratamento, no entanto voltou a subir devido à entrada de água pelo rasgo no tecido. A concentração de nitrogênio amoniacal subiu ligeiramente no terceiro dia, caindo na sequência com o aumento das avarias no envoltório. Os mergulhadores observaram que a mortalidade dos organismos incrustados havia começado nas áreas em que o envoltório estava íntegro (Floerl et al., 2010).



**Figura 22** – Fragata “the Canterbury” encapsulada com lona plástica na Nova Zelândia

### **IMProtector™**

Um sistema de encapsulamento foi desenvolvido na Austrália, especificamente para o tratamento de bioincrustação em casco de embarcações, o IMProtector™ (Introduced Marine Pest Protector - Aquenal Pty Ltd./Biofouling Solutions Pty Ltd.), a empresa dispõe de protótipos para embarcações de até 18m de comprimento e 5m de calado, e está pesquisando a aplicação do IMProtector™ em estruturas maiores (dragas, barcaças, pontões de marina, plataformas e navios de petróleo e infraestrutura marítima de todos os tipos) (Floerl et al. 2010).

O IMProtector™ foi concebido para bombear água a partir do invólucro para um tanque de retenção para que ela possa ser, em seguida, tratada e testada para assegurar que satisfaça diretrizes de qualidade da água (MAF, 2009).

### **Utilização do IMProtector™ em plataformas e sondas de petróleo semissubmersíveis**

A Aquenal Pty Ltd., contratada pelo governo da Nova Zelândia, propôs em relatório de projeto, a aplicação do IMProtector™ para tratar a bioincrustação em flutuadores de plataformas e sondas de petróleo semissubmersíveis (MAF, 2009). Os estudos basearam-se na experiência prévia da empresa com embarcações menores e em modelos de plataforma em escala de 1:70 (Figura 23). Até o momento não houve a aplicação do sistema em escala real em nenhuma plataforma.



**Figura 23** – Estudos para aplicação do IMProtector™ para tratar a bioincrustação em flutuadores de plataformas e sondas de petróleo semissubmersíveis em modelos em escala de 1:70.

### **Encapsulamento em docas flutuantes**

Os sistemas conhecidos como docas flutuantes são utilizados, principalmente, para abrigar embarcações de recreio, quando não em uso, como proteção contra os efeitos de um ambiente de água salgada e para reduzir o desenvolvimento de bioincrustação. As docas possuem um colarinho flutuante e um tecido de plástico flexível suspenso a partir do colarinho formando um compartimento completamente fechado. O espaço confinado em torno da embarcação pode ser cheio de água ou seco, dependendo do sistema utilizado (Floerl et al., 2015).

Uma série de docas flutuantes está disponível comercialmente em vários tamanhos, a maioria dos sistemas é de fácil instalação sem a necessidade de mergulhadores. Um dos sistemas mais recentes é o “FAB dock” (Figura 24), desenvolvido por uma companhia australiana. A empresa anuncia que pode fazer as docas para qualquer tamanho ou forma de barco, até para barcos de até 100 pés (30 m). Uma bomba remove a água do mar para manter seco o espaço em torno do casco, enquanto o barco não está em uso.



Figura 24 – Docas flutuantes “FAB dock”

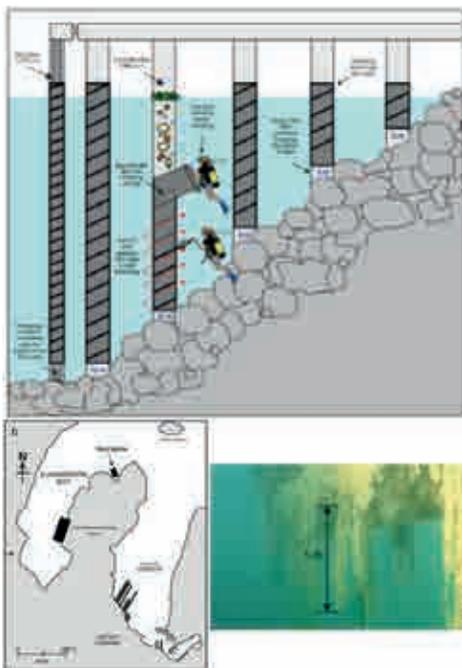
### **Encapsulamento ou envelopamento de estruturas artificiais**

A utilização de envoltório plástico de polietileno para envolver e tratar estruturas bioincrustadas (pilares de cais, pontões e molhes) difere do encapsulamento de embarcações pelo fato de que, em vez de um tecido único, utilizam-se faixas de tecido plástico para envolver estruturas tubulares. A vedação das margens de tecido sobrepostas é feita utilizando-se fitas adesivas. Se instalado corretamente, o envoltório restringe o fluxo de água para dentro do revestimento, isolando o ambiente interno do externo, e a respiração dos organismos incrustantes dentro do envoltório esgota rapidamente os níveis de oxigênio, causando mortalidade dos organismos por anoxia.

Essa técnica foi utilizada na Nova Zelândia para o controle de espécies exóticas invasoras, particularmente na Baía de Shakespeare, como um dos métodos para o controle da ascídia *Didemnum vexillum* (Figura 25). A técnica foi aplicada nos pilares do Píer Waimahara em conjunto com outras metodologias aplicadas na área (encapsulamento de embarcações, citado anteriormente, deposição de material dragado sobre o sedimento colonizado pela ascídia em área abaixo de embarcação fortemente incrustada, remoção de boias colonizadas por ascídias e várias técnicas para tratamento do solo marinho abaixo do pier) (Coutts, 2006; Coutts & Forrest, 2007). No caso específico do píer, todos os 178 pilares (2 a 16 metros de profundidade) foram envolvidos por mergulhadores durante seis dias de operação e deixados no lugar por 12 meses. O método foi considerado praticamente efetivo em eliminar a ascídia, exceto em alguns casos em que o envoltório se soltou ou foi danificado por alguma embarcação (Coutts, 2006). Algumas limitações do método foram citadas por Coutts (2006): impossibilidade de envolver as bases dos pilares, danos ao tecido plástico, necessidade de reparos no envoltório, e eliminação de toda a comunidade incrustante e não só o organismo-alvo.

Segundo Coutts e Forrest (2007), apesar de todos os esforços empregados, a ascídia *D. vexillum* acabou se alastrando pela região causando prejuízos às fazendas de mexilhão da

localidade. Os autores ainda concluíram que o programa de erradicação da *D. vexillum* em Shakespeare Bay poderia ser facilmente descartado como mais uma tentativa fracassada, e posteriormente esquecido, no entanto gerou muitas lições aprendidas.



**Figura 25** – Aplicação de envoltório plástico de polietileno para envolver e tratar estruturas bioincrustadas nos pilares do Píer Waimahara na Baía de Shakespeare, em Nova Zelândia.

Devido ao fato de que a técnica não utiliza um tecido contínuo e sim faixas de tecido sobrepostas, há um risco maior de troca de água e também de propágulos de organismos com o meio exterior, caso a instalação não seja feita adequadamente, ou o envoltório sofra algum dano no decorrer do tratamento. A necessidade de mergulhadores para a instalação do envoltório e o fato de que o encapsulamento é alcançado progressivamente envolvem o risco de remoção involuntária de organismos durante a instalação (Morrisey & Woods, 2015).

### **Adição de substâncias tóxicas ou aceleradores aos sistemas de encapsulamento**

Alguns produtos químicos podem ser adicionados à água no interior do envoltório plástico, ou sistemas de doca flutuante para atuar como agentes tóxicos (ex.: ácido acético, hipoclorito de sódio, etc.), ou para aumentar o desenvolvimento de anóxia (ex.: açúcar, sulfito de sódio, etc.). O tratamento com produtos químicos relativamente amigáveis ao ambiente, tais como hipoclorito de sódio e ácido acético é, geralmente, muito eficaz, muitas vezes em concentrações relativamente baixas (< 5%). Há, por vezes, dificuldades em alcançar e manter uma concentração suficiente do tóxico, particularmente quando: há vazamentos no envoltório, a embarcação possui forma não convencional, ou o envoltório não está bem encostado no casco da embarcação (Floerl et al., 2015).

#### **Ácido acético**

O ácido acético é o ingrediente ativo do vinagre, e é altamente eficaz contra a bioincrustação em concentrações relativamente baixas (Forrest et al., 2007). O encapsulamento com ácido acético foi aplicado como parte de um programa de erradicação da ascídia *Didemnum vexillum* (Pannell & Coutts, 2007) e, mais recentemente, na Nova Zelândia, durante o tratamento de uma embarcação incrustada pelo poliqueta *Sabella spallanzanii*. Como uma concentração de

4% é equivalente ao teor de ácido acético do vinagre doméstico, é pouco provável que haja riscos ambientais ou ocupacionais significativos se medidas adequadas sejam postas em prática para o manuseio e eliminação de resíduos (Forrest et al., 2007).

### **Cloro**

O cloro (ou hipoclorito de sódio) é um tratamento eficaz contra uma série de organismos incrustantes (Añasco et al., 2008). A adição de 160 toneladas de cloro na água em uma marina que foi totalmente isolada na Austrália foi capaz de alcançar 100% de mortalidade do mexilhão invasor *Mytilopsis sallei*, além de toda a biota presente na região (Field, 1999). A eficácia do tratamento com hipoclorito é dependente de uma combinação da concentração e do tempo de exposição. A concentração diminui rapidamente na presença de matéria orgânica, logo, a manutenção da concentração adequada é difícil. Os riscos ambientais e ocupacionais requerem que medidas apropriadas sejam colocadas em prática para manuseio e descarte de resíduos (Floerl et al., 2015).

### **Água doce ou com salinidade reduzida**

A água doce pode ser adicionada aos tratamentos de encapsulamento como um “agente tóxico” à bioincrustação marinha, podendo ser considerada como um agente dos mais amigáveis ao ambiente. A aplicação é mais eficaz se a maior parte da água do mar no interior do invólucro puder ser bombeada para fora, antes da adição de água doce. A água doce é muito eficaz contra organismos incrustantes de corpo mole. Em contraste, com organismos de corpo rígido (ostras e mexilhões) são capazes de fechar as valvas das conchas por vários dias, a água doce pode não ser eficaz como um tratamento rápido para estes (Floerl et al., 2015).

A Tabela 1 - apresenta o sumário das tecnologias encontradas na consulta a artigos científicos e documentos técnicos.

### Sumário das tecnologias de remoção de bioincrustação

Método de Limpeza	Fora da água	Na água	Aplicabilidade	Alvo	Limitações/Riscos
Remoção Manual					
Remoção manual	•	•	Embarcações de recreio e comerciais leves, e pontos específicos de estruturas submarinas	Manchas isoladas de bioincrustação	Não eficaz em remover bioincrustação em áreas de difícil acesso. Fases iniciais de organismos incrustantes podem não ser removidas do casco, sobrevivendo e atingindo estágios adultos, a partir do retorno da embarcação para a água logo após a limpeza. Pode resultar na liberação de revestimentos anti-incrustação dos cascos. Risco de que alguns organismos (ou seus propágulos) retirados do casco ainda sejam viáveis, reforçando a importância da captura e contenção eficaz dos resíduos.
Remoção manual com escovas, espátulas, etc.	•	•	Embarcações de recreio e comerciais leves, e pontos específicos de estruturas submarinas	Manchas isoladas de bioincrustação	Idem anterior.
Dessecação	•		Pequenas embarcações sem restrições de tempo em portos	Toda superfície do casco, caixas de mar e estruturas externas.	Somente viável para pequenas embarcações. Embarcações maiores demandam muito tempo em diques secos, os quais têm grande demanda e alto custo. Há perda de receita associada ao período de inatividade da embarcação.
Remoção Mecânica					<i>Heavy Lift Vessel</i> em número limitado ao redor do mundo, com demanda internacional elevada para sua utilização. Somente é viável economicamente para viagens longas.
Escovas rotativas (equipamentos portáteis)		•	Embarcações comerciais pequenas e/ou pontos específicos de estruturas submarinas	Porções contínuas do casco ou de áreas específicas em estruturas submarinas	
Escovas rotativas ("brush cart" operado por mergulhador)		•	Navios mercantes	Porções contínuas do casco	A maioria dessas ferramentas não inclui sistemas de captura e de filtração de resíduos. Não adequadas para o tratamento de áreas-nicho ou estruturalmente complexas.
Escovas rotativas (operação remota – ROVs e robôs)		•	Navios mercantes	Porções contínuas do casco	Não adequadas para o tratamento de áreas-nicho ou estruturalmente complexas. A maioria dessas ferramentas não inclui sistemas de captura e de filtração de resíduos. Não removem toda a bioincrustação nem capturam todo o material removido, por consequência, a utilização desses sistemas resultará na perda de alguns organismos, potencialmente viáveis, para o ambiente. Método de limpeza muito abrasivo podendo causar danos à pintura do casco. Os resíduos de pintura removidos podem liberar componentes biocidas no ambiente.
Escovas rotativas (sem contato)		•	Navios mercantes	Porções contínuas do casco	Idem anterior

Hidrojateamento (equipamentos manuais)	•	•	Embarcações de recreio e comerciais leves, e pontos específicos de estruturas submarinas	Porções contínuas do casco ou de áreas específicas em estruturas submarinas	Não adequadas para o tratamento de áreas-nicho ou estruturalmente complexas. A maioria dessas ferramentas não inclui sistemas de captura e de filtração de resíduos. Não removem toda a bioincrustação nem capturam todo o material removido, por consequência, a utilização desses sistemas resultará na perda de alguns organismos, potencialmente viáveis, para o ambiente.
Hidrojateamento (por "carts" e ROVs)		•	Navios mercantes	Porções contínuas do casco	
Cavitação (autopropulsão, "cart" operado por mergulhador, pistolas portáteis)		•	Navios mercantes	Porções contínuas do casco	Não eficaz para a remoção de incrustação em tubos de captação de água do mar e grades, caixas de mar. Possibilidade de sobrevivência de fases microscópicas da bioincrustação.
Sistemas de aspiração a vácuo		•	Embarcações comerciais leves	Manchas isoladas de bioincrustação	A utilização do hidrojateamento subaquático não deve ser considerada para remoção de espécies invasoras a menos que todas as partículas viáveis possam ser recolhidas, incluindo os organismos intactos, propágulos e organismos unicelulares.
Tratamentos de superfície					Equipamentos disponíveis com capacidade para remover bioincrustação em estágios iniciais de desenvolvimento (algas e organismos de corpo mole). Sistemas inadequados para a limpeza de superfícies complexas.
Água quente, calor, vapor		•	Teoricamente sem restrições, embora o equipamento disponível comercialmente seja restrito a navios maiores	Remoção de microincrustação e algas no casco do navio	Jatos cavitacionais podem não matar a incrustação após sua remoção da superfície do casco, o que pode levar a riscos de liberação de propágulos ou fragmentos de organismos capazes de regeneração.
Ultrassom		•	Embarcações em geral	Prevenção de crescimento de incrustação no casco do navio	Metodologia não seletiva, retirando todos os outros organismos incrustados, além do organismo-alvo. Não há contenção de resíduos, o que aumenta o risco de biossegurança com a dispersão de fragmentos.
Tecnologias de encapsulamento					Método considerado muito trabalhoso e ineficaz para ser utilizado em ações de biossegurança de rotina.
Encapsulamento		•	Teoricamente sem restrições de tamanho (existem protótipos para embarcações de até 18 metros)		Técnica muito morosa devido a problemas de entupimento de bomba e sistema de filtração.
Docas flutuantes		•	Embarcações menores que 20 metros de comprimento		Sistema não é eficaz na remoção de organismos fortemente fixados, tais como cracas, poliquetas tubícolas e bivalves cimentantes.
Encapsulamento com agentes tóxicos		•	Teoricamente sem restrições de tamanho (existem protótipos para embarcações de até 18 metros)	Toda superfície do casco, incluindo áreas-nicho	

## REFERÊNCIAS

- Akinfiyev, T. & Janushevskis, A. E. L. (2007). *A brief survey of ship hull cleaning devices*. *Transport and Engineering Mechanics* 24: 133-146.
- Añasco, N. C., Koyama, J., Imai, S. & Nakamura, K. (2008). *Toxicity of residual chlorines from hypochlorite-treated seawater to marine amphipod *Hyale barbicornis* and estuarine fish *Oryzias javanicus**. *Water Air Soil Pollut.* 195:129-136.
- Anil, A.C., Khandeparker, L., Desai, D.V., Baragi, L.V. & Gaonkar, C.A. (2010). *Larval development, sensory mechanisms and physiological adaptations in acorn barnacles with special reference to *Balanus Amphitrite**. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 392: 89 – 98.
- Anzacc. (1996). *Working together to reduce impacts from shipping operations: Code of Practice for Antifouling and In-water Hull Cleaning and Maintenance, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council*. Canberra, 13 p.
- Apte, S., Holland, B. S., Godwin, L. S. & Gardner, P. A. (2000). *Jumping ship: A stepping stone event mediating transfer of a nonindigenous species via a potentially unsuitable environment*. *Biol. Invasions*, 2: 75-79
- Aquenal. (2007). *Pre-developing technology for marine pest emergency eradication response: Review of current technology*. A draft report prepared for the Australian Department of Agriculture, Fisheries and Forestry Project, 128p.
- Blakemore, K.a. & Forrest, B.m. (2007). *Heat treatment of marine fouling organisms*. Cawthron Report No. 1300. Prepared for Golder Kingett Mitchell. 75 p.
- Bohlander, J., (2009). *Review of options for in-water cleaning of ships*. MAF Biosecurity New Zealand Technical Paper No: 2009/42. 34.
- Branch, G.M. & Steffani, C.N. (2004). Can we predict the effects of alien species? A case-history of the invasion of South Africa by *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300 (1–2): 189–215
- Brock, R., Bailey-Brock, J.H. & Goody, J. (1999). *A case study of the efficacy of freshwater immersion in controlling introduction of alien marine fouling communities: The USS Missouri*. *Pacific Science* 53: 223-231.
- Capel, K., Migotto, A. E. & Kitahara, M. V. (2015). Regeneração no coral invasor *Tubastraea coccinea* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia). *Caderno de Resumos XIX Simpósio de Biologia Marinha - Cebimar, São Sebastião, SP. 25 a 27 de nov. 2015.* p. 41.
- Commonwealth Of Australia. (2015). *Australian Emergency Marine Pest Plan (EMPPPlan)*. Rapid Response Manual. Generic manual. Version 1.0.
- Coutinho, R., Gonçalves, J.E.A., Messano, L.V.R. & Ferreira, C.E.L. (2013). *Avaliação Crítica das Bioinvasões por Bioincrustação*. IEAPM. Ressurgência. nº 7: 10-18
- Coutts, A.d.m. (2002). *The development of incursion response tools underwater vacuum and filtering system trials*. Cawthron Report No. 755 prepared for New Zealand Diving and Salvage, Nelson, New Zealand, 27p.
- Coutts, A.d.m. (2006). *An evaluation of incursion response tools for invasive species: a case study of *Didemnum vexillum* in the Marlborough Sounds (New Zealand)*, Cawthron Institute report no. 1093, prepared for Biosecurity New Zealand.
- Coutts, A.D.M. & Forrest, B.M. (2005). *Evaluation of eradication tools for the clubbed tunicate *Styela clava**. Cawthron Report No. 1110. Cawthron Institute, Nelson, New Zealand. 48 pp.
- Coutts, A.D.M. & Forrest, B.M. (2007). Development and application of tools for incursion response: lessons learned from the management of the fouling pest *Didemnum vexillum*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342: 154–162
- Coutts, A.D.M., Valentine, J.P., Edgar, G. J., Davey, A. & Burgess-Wilson, B. (2010). *Removing vessels from the water for biofouling treatment has the potential to introduce mobile non-*

*indigenous marine species*. Marine Pollution Bulletin, 60: 1533–1540.

Creed, J.C., Fenner, D., Sammarco, P., Cairns, S., Capel, K., Junqueira, A.O.R., Cruz, I., Miranda, R.J., Carlos-Junior, L., Checoli Mantelatto, M. & Oigman-Pszczol, S. (2016). *The invasion of the azooxanthellate coral Tubastraea (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors*. Biol Invasions.

Davidson, I.c., Mccann, L.d., Sytsma, M.d., Ruiz, G.m. (2008A). *Interrupting a multi-species bioinvasion vector: The efficacy of in-water cleaning for removing biofouling on obsolete vessels*. Marine Pollution Bulletin, 56: 1538-1544.

Davidson, I.C., Mccann, L.D., Fofonoff, P.W., Sytsma, M.D. & Ruiz, G.M. (2008b). *The potential for hull-mediated species transfers by obsolete ships on their final voyages*. Diversity and Distributions 14: 518-529.

Field, D. (1999). *Disaster averted?* – Black striped mussel outbreak in northern Australia. Fish Farming International 27:1–30

Floerl, O., Inglis, G.j. & Marsh, H.m. (2005). Selectivity in vector management: An investigation of the effectiveness of measures used to prevent transport of non-indigenous species. *Biological Invasions*, 7(3): pp. 459-75.

Floerl, O., Peacock, L., Seaward, K. & Inglis, G. (2010). *Review of biosecurity and contaminant risks associated with in-water cleaning, NIWA report commissioned by the Department of Agriculture, Fisheries and Forestry (DAFF)*. Commonwealth of Australia, Canberra, 136p.

Floerl, O., Svendsen, E. & Gansel, L. (2013). *Review of potential technologies for biofouling treatment on seismic streamer arrays*. SINTEF Fisheries and Aquaculture Report No. F25053. 35 p.

Floerl, O., Fletcher, L. & Hopkins, G. (2015). *Tools and infrastructure for managing biosecurity risks from vessel pathways in the top of the south region*. Cawthron Report No. 2683. 93 p. plus appendices.

Fontana, R.E., Grosholz, E.D., Miller, A.W., Ruiz, G.M. & And Zabin, C.J. (2013). Managing.

Forrest, B., Blakemore, K.a. (2006). *Evaluation of treatments to reduce the spread of a marine plant pest with aquaculture transfers*. Aquaculture, 257: 333–45.

Forrest, B.M., Hopkins, G.A. & Gardner, J.P. (2007). *Efficacy of acetic acid treatments in the management of marine biofouling*. Aquaculture, 262 (2-4): 319–32.

Golder Associates (2008). *Hull encapsulation as an incursion response tool for marine fouling organisms: a trial on a large vessel*. Report prepared for MAF Biosecurity New Zealand, Biosecurity BO\_186\_2006.

Guo, S., Lee, H.P. & Khoo, B.C. (2011). Inhibitory effect of ultra-sound on barnacle (*Amphibalanus amphitrite*) cyprid settlement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 409, pp. 253-258.

Guo, S., Lee, H.P., Teo, S.L.M. & Khoo, B.C. (2012). *Inhibition of barnacle cyprid settlement using low frequency and intensity ultra-sound*. Biofouling, 28: 131-141.

Hagan, P., Price, E. & King, D. (2014). *Status of Vessel Biofouling Regulations and Compliance Technologies*. Maritime Environmental Resource Center (MERC). Economic Discussion Paper 14-HF-01.

Hilliard, R., Polglaze, J. & Leprovost, I. (2006). *Review and evaluation of the biofouling protocol for vessels less than 25 m in length*. Australian Quarantine and Inspection Service; Canberra, Australia.

Hodges, D. & Simmons, J.H. (2013). *Sabella response in Coromandel Harbour*. Report to Regional Pest Management Committee, Waikato Regional Council. 5 p.

Hopkins, G.a. & Forrest, B.m. (2008). Management options for vessel hull fouling: an overview of risks posed by in-water cleaning. – *ICES Journal of Marine Science*, 65: 811–815.

Hopkins, G.A., Forrest, B.M. & Coutts, A. (2008). *Determining the efficiency of incursion*

*response tools: Rotating brush technology (coupled with suction capability)*. MAF Biosecurity New Zealand Technical Paper No. 2009/39, Wellington, 58p.

Hopkins, G.A., Forrest, B.M., Piola, R.F. & Gardner, J.P.A. (2011). Factors affecting survivorship of defouled communities and the effect of fragmentation on establishment success. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 396: 233–243.

Hopkins, G.A., Prince, M., Cahill, P.L., Fletcher, L.M. & Atalah, J. (2015). *Desiccation as a mitigation tool to manage biofouling risks: trials on temperate taxa to elucidate factors influencing mortality rates*. *Biofouling*, 32:1, 1-11.

Hunt, L., Chadderton, L., Stuart, M., Cooper, S. & Carruthers, M. (2009). *Results of an attempt to control and eradicate Undaria pinnatifida in Southland, New Zealand, April 1997 – November 2004*. Department of Conservation, Invercargill, New Zealand. 48 p.

Inglis, G., Floerl O. & Woods C. (2012). *Scenarios of vessel biofouling risk and their management*. An evaluation of options. MAF Technical Paper No: 2012/07. 126 p.

Lewis, J. (2013). *In-water hull cleaning and filtration system: in-water cleaning trials* - 26- 28 November 2012, Western Australian Department of Fisheries, Fisheries Occasional Publication No. 114, Perth, Australia, 52p.

Liltved, H. (2012). *Collection efficiency of the ECOsubsea prototype hull cleaner*. A preliminary study. Report N° 6426-2012, prepared for ECOsubsea AS, Oslo, 11p.

Luz, B.p., Capel, K.c., Migotto, A.e., Zilberberg, C. & Kitahara, M. (2016). *A polyp from nothing: The extreme regeneration capacity of the invasive sun corals Tubastraea coccinea and T. tagusensis*. 13th International Coral Reef Symposium, 19-24 June 2016, Honolulu, Hawaii. [Abstract] <https://www.sgmeet.com/icrs2016/viewabstract.asp?AbstractID=29393>

MAF. (2009). *Enclosure treatment: A biosecure treatment for oil rig pontoons*. MAF - Ministry of Agriculture and Forestry - Biosecurity New Zealand Technical Paper No: 2009/40

Mazue, G., Viennet, R., Hihn, J.Y., Carpentier, L., Devidal, P. & Albaina, I. (2011). *Large-scale ultra-sonic cleaning system: Design of a multi-transducer device for boat cleaning (20 kHz)*. *Ultra-sonics Sonochemistry*, 18: 895-900.

Morrisey, D. & Woods, C. (2015). *In-water cleaning technologies: Review of information*. MPI Technical Paper No: 2015/38. Ministry for Primary Industries, New Zealand.

Paetzold, S.c. & Davidson, J. (2010). *Viability of golden star fragments after high-pressure water treatment*. *Aquaculture* 303: 105–107.

Pannell, A. & Coutts, A.d.m. (2007). *Treatment methods used to manage Didemnum vexillum in New Zealand*. Report prepared for Biosecurity New Zealand. Marine Farming Association Inc., Blenheim, New Zealand. 44 p.

Schiff, K.C., Diehl, D. & Valkirs, A. (2004). Copper emissions from antifouling paint on recreational vessels, *Marine Pollution Bulletin*, 48(3–4), pp. 371–7.

Schroeder, D.m. & Love, M.s. (2004). *Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight*. *Ocean Coast. Manage.* 47:21-48.

Seth, N., Chakravarty, P., Khandeparker, L., Anil, A.C. & Pandit, A.B. (2010). Quantification of the energy required for the destruction of Balanus amphitrite larva by ultra-sonic treatment. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90: pp. 1475-1482.

Valkirs, A.O., Seligman, P.F., Haslbeck, E. & Caso, J.S. (2003). Measurement of copper release rates from antifouling paint under laboratory and in situ conditions: Implications for loading estimation to marine water bodies, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 46(6): 763–79.

Williams, S.L., Davidson, I.C., Pasari, J.R., Ashton, G.V., Carlton, J.T. & Crafton, R.E. *Multiple Vectors for Marine Invasions in an Increasingly Connected World*. *Bioscience* 63 (12), 952–966.

Woods, C., Floerl, O., Fitridge, I., Johnston, O., Robinson, K., Rupp, D., Davey, N., Rush, N. & Smith, M. (2007). *Efficacy of hull cleaning operations in containing biological material*. II.

Seasonal variability, MAF Biosecurity New Zealand Technical Paper No. 08/11, Wellington, 116p.

Wotton, D. M., O'brien, C., Mike, D., Stuart, M.D. & Fergus. D.J. (2004). Eradication success down under: heat treatment of a sunken trawler to kill the invasive seaweed *Undaria pinnatifida*. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 844-849.

## **CAPÍTULO 4**

MELHORES PRÁTICAS  
E REGULAMENTAÇÕES  
RELACIONADAS À  
BIOINVASÃO MARINHA  
NO CONTEXTO  
INTERNACIONAL

## **INTRODUÇÃO**

Objetivando gerenciar o risco da disseminação de espécies exóticas invasoras no ambiente marinho, por bioincrustação e, especificamente, a prevenção, controle e/ou monitoramento da disseminação do coral-sol no ambiente marinho, algumas ações estão sendo desenvolvidas por diferentes instituições nacionais e internacionais (públicas e privadas).

Abaixo seguem alguns exemplos dessas iniciativas.

### **INICIATIVAS EM ÂMBITO NACIONAL**

#### **A. Ministério do Meio Ambiente (MMA)**

Em 2009, foi publicado o livro “Informe Nacional sobre as Espécies Exóticas Invasoras Marinhas no Brasil”, e aprovada também a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras através da Comissão Nacional de Biodiversidade (Conabio).

Em 2016 foi criado o Grupo de Trabalho (GT) Coral-Sol, cuja finalidade é “fornecer assessoramento técnico e coordenar a elaboração do Plano de controle e monitoramento da bioinvasão do coral-sol (*Tubastraea* spp.). Realizou também o Seminário Nacional de Nivelamento Técnico sobre a invasão do coral-sol em águas brasileiras.

Em 2006 foi criada a Câmara Técnica Permanente sobre Espécies Exóticas Invasoras – CTPEEI no âmbito da Comissão Nacional de Biodiversidade – Conabio (Deliberação Conabio nº 49, de 30 de agosto de 2006). O principal produto da CTPEEI foi a elaboração da “Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras” aprovada pela Conabio, por meio da Resolução nº 5, de 21 de outubro de 2009. A Estratégia prevê o estabelecimento de ações prioritárias a serem desenvolvidas e/ou apoiadas pelo MMA, ou por meio de suas vinculadas, Ibama, ICMBio e Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro – JBRJ, bem como por outros órgãos do Governo Federal.

No entanto, muito embora a Resolução Conabio nº 49/06 tenha criado a Câmara Técnica Permanente sobre Espécies Exóticas Invasoras (CTPEEI), e a Resolução Conabio nº 05/09 tenha estabelecido a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras, o Brasil ainda não dispõe de uma Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras, nem de normativas para a prevenção, controle e erradicação de espécies exóticas invasoras, entre outros instrumentos relevantes ao tema. Com efeito, não existe até o presente momento normatização sobre o assunto, ainda que regulamentar.

#### **B. Marinha do Brasil – Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM)**

A Marinha tem o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) como uma instituição de pesquisa, que tem por objetivo: pesquisar, desenvolver, inovar e prestar serviços tecnológicos na área de Ciências do Mar. Visa contribuir para a ampliação do conhecimento, a eficaz utilização do meio ambiente marinho, e o desenvolvimento socioeconômico do País.

Entre as propostas de atuação do IEAPM, ante a problemática da bioinvasão do coral-sol, podemos citar:

- estabelecer coleção de referência e banco de dados sobre o coral-sol e outras espécies invasoras;

- estabelecer um programa de monitoramento das espécies invasoras em locais-chaves;

- desenvolver tecnologia de limpeza do coral-sol em vetores (plataformas e navios);

- desenvolver linhas de pesquisas na área do controle físico, químico e biológico do coral-sol;

- aprofundar estudos genéticos sobre o coral-sol;

avaliar em diferentes pontos da costa brasileira possíveis efeitos do coral-sol na biodiversidade; e

participar da IMO e da Convenção de Diversidade Biológica para dar subsídios para a Marinha do Brasil estabelecer uma Norma.

Encontra-se também em andamento no IEAPM a manutenção do “Banco de Dados de Espécies Incrustantes da Costa Brasileira”, o monitoramento extensivo das populações de coral-sol em Arraial do Cabo (RJ) e a coleção científica de espécies incrustantes, além das pesquisas com coral-sol. O IEAPM tem contribuído através da produção do conhecimento científico (resumos científicos, apresentação em congressos e artigo de divulgação científica) e divulgação na mídia.

Vale ressaltar que algumas linhas de pesquisa apresentadas acima estão sendo desenvolvidas no contexto do Projeto Gestão e Controle de Bioinvasão por Bioincrustação (Gebio), desenvolvido através de um Termo de Cooperação Técnica entre a Petrobras e o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (Marinha do Brasil). O projeto foi iniciado em dezembro de 2013 e será concluído em dezembro de 2017. Suas principais atividades são: Banco de dados e coleção científica de espécies incrustantes da costa brasileira, monitoramento e controle de espécies invasoras, e análise de risco à bioinvasão.

### **C. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)**

Entre as principais iniciativas do Ibama em contribuição às ações de combate ao coral-sol, destacam-se:

- capacitação pelo Projeto Coral-Sol e UERJ por meio do Curso de Introdução à Análise da Bioinvasão Marinha por Bioincrustação para analistas ambientais do Ibama, realizado em Brasília em maio de 2014;
- elaboração de recomendações/orientações para a Diretoria de Licenciamento Ambiental (Dilic) relacionadas ao monitoramento e controle de espécies exóticas invasoras no âmbito do Licenciamento Ambiental Federal (LAF), visando adoção de providências necessárias diante do tema abordado;
- realização do levantamento de procedimentos e ações já adotados pelas diversas áreas da Dilic com relação a essa temática, com a finalidade de “sugerir diretrizes para o estabelecimento de padrões e parâmetros de verificação e prevenção no âmbito do LAF, reportando à Dilic para as providências institucionais cabíveis”;
- apresentação de propostas para a Dilic sobre a prevenção e controle de espécies exóticas invasoras no LAF que poderiam ser seguidas por todas as tipologias;
- estabelecimento de diretrizes para a renovação da Licença de Operação da atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica da Bacia do Espírito Santo e requerimento de um plano para o diagnóstico de incrustação de espécies invasoras – coral-sol nas unidades marítimas de perfuração sob responsabilidade da empresa;
- aprovação do Plano de Ação para o Gerenciamento de Bioincrustação nas atividades de E&P da Petrobras na Bacia de Santos com as condicionantes requeridas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) para aprovação de Testes de Longa Duração – TLDs nos prospectos exploratórios de Tiro e Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos;
- solicitação do Estudo de Bioinvasão do coral-sol na Bacia de Sergipe e Alagoas, no âmbito do licenciamento ambiental das atividades do projeto de Ampliação do Sistema de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural nos Campos de Camorim, Dourado e Guaricema, Bacia de Sergipe/Alagoas (processo Ibama nº 02022.002524/2006) e da atividade de regularização das plataformas de produção no âmbito do TAC-SEAL (processo Ibama nº 02022.005302/1998);

- realização da “Oficina de Trabalho para Discussão de Medidas Mitigadoras e de Controle da Bioinvasão provocada por Bioincrustação”, realizada em abril de 2012, cujo objetivo foi “nivelar informações sobre o tema, atividades de E&P e de transporte, biologia das espécies e projetos de mitigação e controle”, promovida em conjunto com a Petrobras;
- realização de discussões técnicas e encaminhamentos sobre o coral-sol e outras espécies invasoras na Dilic;
- formulação de ações, diretrizes e medidas de mitigação para o impacto do coral-sol e de outras espécies invasoras no licenciamento; e
- autorização para extração de coral-sol; até o presente momento concedeu a autorização para BRBio (Oscip) e Pró-Mar (ONG), com projetos aprovados e licenças emitidas.

#### **D. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio realiza o controle manual, mapeamento e monitoramento extensivo dos corais invasores *T. coccinea* e *T. tagusensis* em três unidades de conservação do Instituto, são elas: a Estação Ecológica de Tamoios, Baía da Ilha Grande (RJ); Estação Ecológica Tupinambás, localizada entre os municípios de São Sebastião e Ubatuba (SP); e a Reserva Biológica do Arvoredo, localizada entre os municípios de Florianópolis e Bombinhas (SC). A Resex Marinha Baía do Iguape, localizada em Maragogipe (BA), tem previsão de início de mapeamento e estudo das populações de coral-sol na unidade de conservação para o segundo semestre de 2016.

O Projeto Coral-Sol (PCS) capacitou os gestores ambientais das unidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina no suporte técnico-científico na área de manejo e monitoramento do coral-sol no litoral brasileiro. As técnicas de controle e monitoramento utilizadas inicialmente foram aquelas desenvolvidas pelo PCS, e, posteriormente, em função da situação e experiência de cada caso, a metodologia foi adaptada, não obstante não exista ainda certeza científica quanto à adequação da melhor técnica de manejo.

##### **a. Reserva Biológica do Arvoredo (SC)**

Em 2010, foi elaborado um Plano de Ação para prevenção do coral-sol na Reserva Biológica do Arvoredo (SC) em atendimento às condicionantes propostas por essa unidade de conservação para aprovação de Testes de Longa Duração – TLDs nos prospectos exploratórios de Tiro e Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos.

Desde 2012 a Rebio Arvoredo vem realizando o monitoramento e manejo do coral-sol, em parceria com o ICMBio, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Instituto Ekko Brasil, que resultou no Projeto Bioinvasores Marinhos: Monitoramento e controle da bioinvasão pelo coral-sol – *Tubastraea* sp. (*Cnidaria: Scleractinia*).

O projeto Bioinvasores Marinhos também realizou o monitoramento da comunidade bentônica em áreas portuárias, bem como ações de educação ambiental e comunicação social.

##### **b. Estação Ecológica de Tamoios (RJ)**

A Estação Ecológica (Esec) foi qualificada pelo Projeto Coral-Sol, e em 2009 iniciou o monitoramento extensivo para mapear a distribuição e abundância do coral-sol na região.

Em 2013, foi realizada a 1ª Operação Eclipse que teve como objetivo a capacitação de diversos atores na metodologia de remoção do coral-sol e a retirada do maior número possível de exemplares das duas espécies de coral-sol em uma ilha na UC. Essa atividade contou com a participação de diversos atores, entre órgãos ambientais, operadoras de mergulho de Angra dos Reis, voluntários e imprensa. Foi realizada também a 1ª Oficina de Manejo do Coral-Sol nas Unidades de Conservação Marinhas Brasileiras.

Em 2015, com o apoio do Ministério Público Federal, a Esec Tamoios promoveu o Projeto Eclipse, mobilizando mais de 32 pessoas e contando com a participação de diversas instituições.

Os parceiros atuais são UAAF/ICMBio e MPF de Angra dos Reis. Também são realizadas ações de educação ambiental e comunicação social.

### **c. Estação Ecológica Tupinambás (SP)**

A UC desenvolve o mapeamento completo da UC e entorno, ações sistemáticas de prevenção, monitoramento, manejo e controle, bem como educação ambiental e comunicação social.

## **E. Iniciativa Privada – Petrobras**

Ciente dos riscos associados às atividades de petróleo e gás como possível vetor de introdução de espécies exóticas, juntamente com outros setores, tais como os setores pesqueiro, de recreação e de transporte marítimo, entre outros, a Petrobras vem atuando em três vertentes nessa temática.

### **a. Apoio ao Ministério de Minas e Energia (MME) nas discussões da Organização Marítima Internacional (IMO)**

A Petrobras, como convidada do Ministério de Minas e Energia – MME, vem apoiando, desde 1996, a atuação do Brasil nas discussões da Organização Marítima Internacional (*International Maritime Association* – IMO) sobre bioinvasão, em alinhamento com as estratégias definidas pela Coordenação Interministerial para Assuntos da IMO (CCA-IMO), mais especificamente nas convenções de água de lastro e de sistemas anti-incrustantes e, mais recentemente, na elaboração das diretrizes de aplicação voluntária sobre controle e gerenciamento de risco de bioincrustação marinha.

Especialistas de diversas áreas da companhia vêm fornecendo embasamentos técnicos para a elaboração dos posicionamentos do País, visando o aprimoramento dos instrumentos reguladores internacionais.

Especificamente, o tema bioinvasão por bioincrustação vem sendo debatido no Subcomitê de Granéis Líquidos e Gases (*Sub-committee on Bulk Liquids and Gases* – BLG) da IMO, desde 2007, quando foi criado um Grupo de Correspondência sobre Bioincrustação (*Biofouling Correspondence Group*).

A participação da Petrobras vem sendo considerada relevante para o alcance dos resultados esperados pelo MME.

### **b. Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)**

Diante das expressivas lacunas de conhecimento sobre bioinvasão marinha, a Petrobras vem fomentando a condução de pesquisas para o aumento do conhecimento da bioincrustação e seus aspectos técnico-científicos.

Assim, o Centro de Pesquisas da Petrobras – Cenpes desenvolve um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D, que contempla os seguintes projetos:

- Gestão e Controle de Bioinvasão por Bioincrustação (Gebio)

Foi firmado um Termo de Cooperação (TC) científico-tecnológica, em 2013, para a condução de pesquisas específicas sobre alguns aspectos da bioincrustação, entre o Centro de Pesquisas da Petrobras e a Divisão de Biotecnologia Marinha do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), da Marinha do Brasil, que apresenta reconhecida experiência nacional e internacional em suas pesquisas sobre bioincrustação.

Os objetivos dessa cooperação, intitulada “Projeto para Gestão e Controle de Informações sobre Bioincrustação (Gebio)”, são:

- Estabelecimento do Banco de Dados “Espécies Incrustantes da Costa Brasileira”;
- Estabelecimento de coleção científica de espécies incrustantes;
- Monitoramento de espécies invasoras na região de Arraial do Cabo;
- Desenvolvimento de metodologia de análise de risco à bioinvasão;

- Avaliação de relatórios e documentos na área de bioincrustação; e
- Disseminação do conhecimento e capacitação.

- Avaliação da ocorrência de coral-sol na baía de Guanabara e adjacências

Este projeto, realizado em 2016, teve por objetivo avaliar substratos consolidados da Baía de Guanabara quanto à presença ou ausência de coral-sol. Não foi identificada a presença de colônias e pólipos de *Tubastraea* spp. nos locais vistoriados na Baía de Guanabara e adjacências.

- Projeto – avaliação e pesquisa do coral-sol na baía de todos-os-santos (bts) - termo de cooperação com a universidade federal da bahia (em contratação)

O objetivo geral do projeto é implementar um conjunto de subprojetos para avaliar a distribuição atual de *Tubastraea* spp. (coral-sol) na BTS, monitorar a evolução da sua ocorrência ao longo do tempo, ampliar e disseminar o conhecimento sobre os aspectos biológicos, ecológicos e fauna associada a esses organismos.

Principais linhas de pesquisa:

- Mapeamento e monitoramento da dispersão do coral-sol;
- Ciclo de vida e biologia reprodutiva do coral-sol;
- Caracterização da fauna associada ao coral-sol;
- Avaliação da influência de coral-sol sobre espécies nativas de corais.

- Termo de Cooperação com o Instituto Oceanográfico da USP – IO-USP (2016-2020).

Principais linhas de pesquisa:

- Sistemas para monitoramento do coral-sol e dispersão de larvas, através de identificação por imagem;
- Controle da bioincrustação em substratos artificiais (cascos) por tratamento acústico;
- Mapeamento da presença e a densidade de larvas de coral-sol na BTS; e
- Experimentos *in situ* dos efeitos da remoção manual de colônias sobre a dispersão do coral-sol.

**c. Projetos de Responsabilidade Social com Organização Pró-Mar (em contratação)**

- Inclusão social de pescadores de comunidades para apoio às atividades de pesquisa do Programa coral-sol BTS e para ecoturismo;
- Educação ambiental e mobilização social.

## **PRÁTICAS OPERACIONAIS**

De forma geral, as medidas de gerenciamento de risco de bioinvasão marinha por bioincrustação adotadas pela frota da Petrobras são:

### **a) Limpeza do casco:**

Todos os navios, inclusive os afretados, são docados a cada 5 anos, se tiverem até 10 anos de vida, e a cada 2,5 anos se tiverem mais de 10 anos de vida, de acordo com a regulamentação vigente. Em qualquer docagem as obras vivas (parte submersa do casco) desses navios são lavadas, raspadas e limpas de incrustação.

### **b) Aplicação de sistemas anti-incrustantes:**

Após a limpeza, são aplicados os sistemas de revestimento anti-incrustante, que consistem na combinação de todos os componentes de revestimentos, tratamentos de superfície (incluindo tinta-base, selantes, anticorrosivos e revestimentos anti-incrustação), ou outros tratamentos de superfície utilizados num navio para controlar ou prevenir a fixação de organismos aquáticos. Conforme determinado pela Norma da Autoridade Marítima (Normam) 23 e pela Convenção *Antifouling Systems Convention 2001* (AFS/CONF/26), reconhecida pelo

governo brasileiro, as obras vivas recebem duas demãos de tinta anticorrosiva epóxi e uma demão de tinta anti-incrustante livre de estanho. As tintas anti-incrustantes são utilizadas apenas após estas passarem por um processo de amostragem, inspeção e emissão de certificado da tinta.

A Petrobras também desenvolveu especificação técnica para prevenção da bioincrustação nas novas unidades marítimas de produção. Foram estabelecidos critérios e orientações para a realização da atividade, levando em consideração a aplicação de revestimento com tintas anti-incrustantes de autopolimento livres de estanho, bem como uso de revestimento “*foul release*”, revestimento polimérico à base de silicone ou fluoropolímero, sem adição de biocida, em locais específicos do casco das unidades. A especificação técnica estabelece também os critérios para as inspeções de conformidade do sistema anti-incrustante aplicado.

**c) Utilização do Sistema de Prevenção de Crescimento de Vida Marinha (*Marine Growth Prevention System* - MGPS):**

Este sistema é utilizado para prevenção de bioincrustação acumulada nas caixas de mar e redes dos sistemas de água salgada que incluem uso de anodos, sistemas de injeção e eletrólise. Os sistemas atualmente instalados nos navios da Transpetro para controle de bioincrustação são:

- ICAF, no qual uma corrente contínua é injetada em 2 anodos (um de Cu e outro de Al), geralmente instalados em caixas de mar ou ralos; e
- Clorinador, no qual é estabelecida, por meio da injeção de corrente contínua, uma diferença de potencial entre um anodo e um catodo em forma cilíndrica, por onde a água salgada passa, sofrendo uma eletrólise e gerando hipoclorito que será reinjetado nas caixas de mar.

**d) Alinhamento com as recomendações do Comitê de Proteção ao Meio Ambiente – MEPC/IMO “Diretrizes para o Controle e Gestão de Bioincrustação de Navios para Minimizar a Introdução de Espécies Exóticas Invasoras da Organização Marítima Internacional”:**

Atendimento às recomendações da Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization* – IMO) - Resolução MEPC.207(62), datada de 15/07/11, intitulada “Diretrizes para o Controle e Gerenciamento de Bioincrustação de Navios para Minimizar a Transferência de Espécies Aquáticas Invasoras de 2011”: essas recomendações são adotadas para o gerenciamento da bioincrustação nos cascos dos navios, incluindo o Livro de Registro de Bioincrustação, onde são registradas todas as operações de manutenções realizadas para a retirada da incrustação nas diversas regiões do casco do navio, informação sobre pintura anti-incrustante, proteção catódica, limpeza de casco e principalmente das regiões do leme, caixas de mar, descargas, locais de apoio de picadeiro, soldas, *bow thruster*, ecossonda, etc.

**e) Recomendações para novas unidades construídas fora do Brasil:**

Exigência de que os cascos novos de plataformas oriundas do exterior sejam avaliados quanto ao risco de incrustação por coral-sol, o que tem levado à realização de inspeções e limpeza desses cascos nas regiões de origem.

## **TERCEIRO SETOR**

**a) Projeto Coral-Sol (PCS)**

O Projeto Coral-Sol (PCS), do Instituto Brasileiro de Biodiversidade, foi criado em 2006 no laboratório de Ecologia Marinha Bêntica da UERJ, sendo a primeira iniciativa brasileira de combate aos corais invasores.

Desde sua criação vem apoiando pesquisas científicas, alertando a sociedade sobre a temática da bioinvasão e envolvendo as comunidades locais para o combate ao coral-sol,

capacitando e auxiliando órgãos ambientais competentes para a necessidade de prevenção e manejo dos corais invasores *T. coccinea* e *T. tagusensis*.

Em 2011 recebeu o *status* de posto avançado da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica/Unesco pelo estado do Rio de Janeiro, por meio do seu Centro de Visitantes, passando a integrar uma rede cujo sistema de gestão envolve tanto representantes do governo quanto da sociedade civil organizada.

O Projeto tem fomentado, por meio de conhecimentos técnicos, palestras, oficinas, treinamentos, cursos de qualificação para pesquisadores (UFBA e Cebimar/USP), gestores ambientais, sociedade civil organizada, estudantes universitários, professores da rede pública de ensino, profissionais de turismo e catadores de coral-sol, mobilização da sociedade (Operação Eclipse com a Esec de Tamoios, *Clean Up Day*), elaboração de informes nacionais e subsídios de políticas públicas visando a prevenção e o manejo do coral-sol em território nacional.

Por meio de sua força-tarefa, qualificou as UCs, Esec de Tamoios, Parque Estadual da Ilha Grande – Peig, Tupinambás, Rebio Marinha do Arvoredo e a ONG Pró-Mar para o controle e monitoramento do coral-sol.

O PCS possui um Banco Nacional de Registros e Manejo do Coral-Sol onde são inseridas as ocorrências deste, e periodicamente atualizadas as informações referentes ao manejo e monitoramento do coral-sol na costa brasileira.

O PCS mantém um Canal Nacional de Registros, onde integrantes da sociedade em geral podem entrar em contato com o Projeto e informar novos registros de ocorrência de *T. coccinea* e *T. tagusensis* no território nacional (Creed & Oigman-Pszczol, 2011).

#### **b) Projeto Corais da Baía**

O Projeto é uma iniciativa do Laboratório de Ecologia Bentônica do Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia associado a outras instituições de pesquisa. Seu objetivo é “produzir informação científica qualificada e gerar subsídios à gestão de áreas de recifes de corais na Baía de Todos-os-Santos”. O Projeto produz conhecimento científico básico e aplicado sobre a biologia e ecologia do coral-sol na Baía de Todos-os-Santos e divulga esse conhecimento por meio da publicação de artigos científicos e resumos em eventos científicos. Ainda, faz a divulgação científica da temática da bioinvasão do coral-sol por meio da sua página na rede social Facebook.

## **INICIATIVAS EM ÂMBITO INTERNACIONAL**

### **Austrália**

A biossegurança marinha na Austrália é regulada pela Lei da Quarentena (em inglês, *Quarantine Act*), de 1906, em combinação com a Lei de Controle Biológico (em inglês, *Biological Control Act*), de 1984. Entretanto, nenhuma dessas leis trata adequadamente das introduções não intencionais de espécies exóticas, como por meio da bioincrustação. Somente o Território Oeste da Austrália conta, hoje, com a Lei de Gerenciamento de Biossegurança e Agricultura (em inglês, *Biosecurity and Agriculture Management Act*), de 2007, que consolida a regulamentação sobre espécies exóticas e doenças e estabelece controles em relação a produtos agrícolas, veterinários, fertilizantes e rações animais.

A partir da invasão do *black-striped mussel* (*Mytilopsis sallei*) ocorrida em Darwin, em 1999, o Governo do Território do Norte adotou medidas provisórias, como programas de inspeção e limpeza de bioincrustação de cascos para barcos recreacionais estrangeiros. O incidente em Darwin também levou ao desenvolvimento de um Sistema Nacional de Prevenção e Gerenciamento de Incursões de Espécies Invasoras Marinhas, que foi endossado por um acordo intergovernamental entre o governo federal e os governos estaduais australianos em

2005, visando: prevenir a entrada de espécies invasoras marinhas no país ou a disseminação para outras áreas; prover uma resposta coordenada de emergência caso alguma espécie invasora chegue ao país; e controlar e gerenciar as espécies marinhas invasoras já existentes, caso a erradicação não seja possível.

O sistema compreende três componentes principais: prevenção; gerenciamento da emergência; e gerenciamento contínuo e controle. Contempla, também, os seguintes componentes de apoio: pesquisa e desenvolvimento, comunicação, monitoramento e avaliação e revisão.

A coordenação do Sistema Nacional é de responsabilidade do Comitê Marinho Setorial de Espécies Invasoras, com representantes do governo australiano, governos estaduais e Território do Norte. Colaboradores da indústria e da área de meio ambiente participam de um grupo consultivo. A implementação do Sistema Nacional é supervisionada por um Comitê Nacional de Biossegurança.

Com relação à bioincrustação, foi estabelecido que: o governo australiano garantirá que os navios entrando na Austrália passem por medidas para minimizar o risco de introdução de espécies invasoras marinhas por meio de bioincrustação; e que os estados e o Território do Norte assegurem que os navios viajando entre diferentes locais na Austrália passem por medidas para minimizar o risco de translocação de espécies invasoras marinhas entre diferentes áreas do país; cada jurisdição, através de guias de melhores práticas e protocolos, deve promover a incorporação de medidas para minimizar riscos de translocação de espécies exóticas associadas à aquicultura (estoques, equipamentos e infraestrutura) para áreas com potencial de se tornarem reservatórios de espécies invasoras e para infraestrutura, ou outro equipamento submerso, ou estruturas associadas.

Entre as medidas adotadas, a avaliação da bioincrustação de navios foi incluída nas inspeções regulares de quarentena de navios que chegam ao país, feitas pelo Serviço Australiano de Inspeção e Quarentena (em inglês, *Australian Quarantine and Inspection Service - AQIS*), com a aplicação de protocolos voluntários.

O Sistema Nacional produziu diversos documentos com o intuito de orientar e normatizar os procedimentos previstos para prevenir e minimizar os riscos da bioinvasão por bioincrustação para uso de diversos setores (ex.: "*National Biofouling Management Guidance for the Petroleum Production and Exploration Industry*", "*National Biofouling Management Guidance for Commercial Vessels*", etc.; "*National Control Plan for the Northern Pacific Seastar*", "*National Control Plan for the European Green Shore Crab*", etc.; "*Australian Emergency Marine Pest Plan*" – EMP Plan; "*Australian Marine Pest Monitoring Manual, Australian Marine Pest Monitoring Guidelines*"; guias e folders específicos para a pesca comercial; e relatórios de pesquisa, como "*Review of Biosecurity and Contaminant Risks Associated with In-Water Cleaning*"). Os documentos estão disponíveis em: [http://www.marinepests.gov.au/marine\\_pests/publications](http://www.marinepests.gov.au/marine_pests/publications).

Salienta-se que há restrições quanto à limpeza subaquática de navios na Austrália em consonância com o Código de Práticas para Manutenção e Limpeza Subaquática de Cascos do Conselho de Conservação do meio Ambiente da Austrália e Nova Zelândia (em inglês, *Australian and New Zealand Environment Conservation Council (Anzecc) Code of Practice for Antifouling and In-water Hull Cleaning and Maintenance* (1997), que identifica as melhores práticas para aplicação, uso, remoção e disposição de tintas anti-incrustantes. Em 2013 o governo australiano publicou as Diretrizes para anti-incrustantes e limpeza subaquática (em inglês, *Anti-fouling and in-water cleaning guidelines*) as quais substituíram o Código de 1997. Naquele documento deixa-se claro que a limpeza subaquática somente deve ser considerada quando a remoção de bioincrustação não prejudique a pintura para não introduzir componentes químicos prejudiciais ao ambiente, e quando apresentar um risco

aceitável à biossegurança.

Em 2015 foi realizada revisão da Política Nacional de Biossegurança e suas recomendações serão implementadas até 2018.

### **Canadá**

O governo canadense adotou uma Estratégia para Espécies Exóticas Invasoras, em 2004, que reconhece os Ministérios de Agricultura e Agro-alimento, da Pesca e Oceanos, do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas como líderes em espécies invasoras e aponta para a necessidade de desenvolver um Plano de Ação para tratar das espécies invasoras aquáticas.

Ainda não há regulação sobre bioincrustação, embora estejam sendo realizadas pesquisas através da Rede Canadense de Espécies Exóticas Invasoras. Existe uma ampla distribuição de material de divulgação do assunto em marinas e eventos de náutica, tendo como público-alvo a navegação recreacional. Também foram elaborados guias de Gerenciamento de Melhores Práticas para barcos e marinas, com maior enfoque nos cuidados com os resíduos oriundos das limpezas de casco (vide [www.pyr.ec.gc.ca/boatyards/](http://www.pyr.ec.gc.ca/boatyards/)).

### **EUA**

O gerenciamento de espécies exóticas nos EUA é coordenado pelo Conselho Nacional de Espécies Invasoras (em inglês, *National Invasive Species Council*), estabelecido em 1999. O Conselho é composto por dez agências governamentais e, em 2001, adotou um Plano Nacional de Gerenciamento, que identifica prioridades, programas e outras iniciativas.

A Guarda Costeira norte-americana é a agência com mandato legal para tratar da questão da água de lastro e expediu a Lei de Gerenciamento de Água de Lastro (em inglês, *Ballast Water Management Act*, 2007), que requer, entre outros aspectos, a remoção da bioincrustação de âncoras, cascos, tubulações e tanques. A Guarda Costeira também desenvolveu Orientações Voluntárias para Atividades Recreacionais para Controlar a Disseminação do Mexilhão Zebra e de outras Espécies Aquáticas Invasoras (em inglês, *Voluntary Guidelines on Recreational Activities to Control the Spread of Zebra Mussels and Other Aquatic Nuisance Species*).

Além disso, alguns estados têm leis e/ou programas relativos ao tema. O Programa de Gerenciamento de Água de Lastro, por exemplo, é baseado em orientações federais e, portanto, inclui a questão da bioincrustação. Maryland tem uma abordagem similar e o Havaí designou o Departamento de Terra e Recursos Naturais como a agência líder do tema água de lastro e bioincrustação. Foi estabelecida a Força-Tarefa de Organismos Exóticos Aquáticos do Havaí (em inglês, *Hawaii Alien Aquatic Organism Task Force*). Os estados de Minnesota, Wisconsin e Vermont também têm regulamentações, embora tenham foco em determinadas espécies, em particular o mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha*). O estado de Virginia tem orientações voluntárias baseadas nas federais. De forma geral, as orientações voluntárias tendem a ser implementadas através de programas voluntários. Por fim, a Califórnia tem a “Lei de Espécies Marinhas Invasoras da Califórnia”, que requer dos proprietários e operadores de navios comerciais de grande porte o fornecimento de informações sobre as condições de bioincrustação do casco, quando solicitados. No entanto, inexistente normatização específica relativa ao coral-sol no país.

### **Reino Unido**

A introdução de espécies exóticas no Reino Unido é regulada através da Lei de Área Rural e Vida Silvestre (em inglês, *Wildlife and Countryside Act*, 1981) (vide [www.mceu.gov.uk/MCEU\\_LOCAL/fepa/FEPA-hull-maint.HTM](http://www.mceu.gov.uk/MCEU_LOCAL/fepa/FEPA-hull-maint.HTM)).

Essa Lei, de forma geral, proíbe a introdução de qualquer animal exótico e estabelece que tal introdução não precisa ser, necessariamente, intencional, para ser proibida. Assim, a remoção de bioincrustação de cascos de navios, com liberação na água, fere os princípios dessa Lei. É provável que algumas restrições e até o banimento de atividades de manutenção de navios sejam impostos em alguns locais por autoridades portuárias, locais ou similares.

### **Seychelles (Costa Africana)**

Em 2004, foi publicada uma minuta de Orientações para Tintas Anti-incrustantes e Limpeza de Cascos, baseada nas orientações da Nova Zelândia, Austrália e EUA, visando orientar a preparação e operação, e limpeza de casco no país. Em suma, o documento trata de: aplicação, manutenção, remoção e disposição de tintas anti-incrustantes; e procedimentos e exigências gerais (rotulagem, locais para aplicações, etc.).

### **Nova Zelândia**

A Nova Zelândia é um dos poucos países no mundo que desenhou aspectos específicos da legislação voltados para uma abrangente prevenção e gerenciamento de espécies exóticas invasoras: a Lei de Biossegurança (em inglês, *Biosecurity Act*), de 1993, com as subsequentes emendas, e a Lei de Substâncias Perigosas e Novos Organismos (em inglês, *Hazardous Substances and New Organisms Act – HSNO*), de 1996. A Lei de Biossegurança é orientada para o gerenciamento de introduções não intencionais de espécies e traça padrões para criar sistemas de quarentena antes da fronteira do país, assim como ações de resposta e gerenciamento contínuo pós-fronteira. O HSNO é orientado para introduções intencionais de novas espécies ou genótipos e é gerido pela Autoridade de Gestão de Risco Ambiental (em inglês, *Environmental Risk Management Authority – ERMA*). A Nova Zelândia também estabeleceu orientações voluntárias para minimizar o risco de translocações de bioincrustação em áreas consideradas de alto valor no país (ex.: Ilhas Chatham, Fiordland e ilhas subantárticas).

Tanto a Nova Zelândia quanto a Austrália têm se engajado ativamente nas discussões internacionais sobre o assunto no Comitê de Proteção ao Meio Ambiente Marinho – MEPC da IMO e nas Conferências das Partes – COPs da Convenção da Diversidade Biológica – CDB. Em termos de regulamentações específicas por países, apenas esses países incorporaram medidas de gerenciamento de risco de bioinvasão marinha por bioincrustação em suas políticas de biossegurança, depois de longa e abrangente discussão com a sociedade, em vistas da elevada biodiversidade marinha existente nesses locais e dos riscos à maricultura. Além disso, admitindo os expressivos impactos ao setor naval, a regulamentação entrará em vigor na Nova Zelândia somente em 2018, respeitando o período de quatro anos de adaptação para sua implementação.

## **LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL E NACIONAL RELACIONADA À BIOINVASÃO MARINHA**

### **REGULAMENTAÇÃO DE APLICAÇÃO GLOBAL**

#### **a. Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar**

Ressalta-se a importância da proteção dos mares e oceanos contra a poluição e dá ênfase no art. 196, o qual afirma que todos os países devem tomar as medidas necessárias para prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio marinho ou a introdução intencional ou acidental de espécies estranhas ou novas que nele possam provocar mudanças importantes e prejudiciais. Tal regra, enfim, estabelece que cada país deve adotar legislação própria com as finalidades referidas, mas não estipula normas de controle e prevenção propriamente ditas.

#### **b. Convenção Internacional sobre Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios**

Estabelece mecanismos para prevenir, minimizar e, se possível, eliminar a transferência de organismos aquáticos nocivos e agentes patogênicos através do controle e gestão da água de lastro e dos sedimentos dos navios mercantes.

### **c. Convenção Internacional sobre Controle de Sistemas Anti-incrustantes Danosos em Navios**

Estabelece normas para reduzir ou eliminar os efeitos nocivos ao meio ambiente marinho e à saúde humana causados por sistemas Anti-incrustantes.

### **d. Convenção sobre Diversidade Biológica**

Estabelece no Art. 8º que cada parte Contratante deve, na medida do possível e conforme o caso, impedir a introdução, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, *habitats* ou espécies.

Com efeito, a Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB estimula e recomenda que cada país estabeleça legislação própria para evitar a introdução e controlar e erradicar as espécies exóticas, sem, contudo, estipular nenhuma medida específica concreta.

### **e. Resolução A.868(20) da Organização Marítima Internacional**

Estabelece diretrizes de caráter voluntário para o controle e gerenciamento da água de lastro de navios, para minimizar a transferência de organismos aquáticos nocivos e agentes patogênicos. Essa resolução auxilia os governos, os comandantes de navios, os operadores e armadores e as autoridades portuárias, bem como outras entidades interessadas, a minimizar os riscos da introdução de organismos aquáticos nocivos e agentes patogênicos, provenientes da água utilizada como lastro pelos navios e dos sedimentos nela contidos e, ao mesmo tempo, resguardar a segurança dos navios.

### **f. União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (2000)**

Suas diretrizes recomendam a rápida mobilização de recursos e especialistas na primeira detecção de espécie exótica invasora para maximizar as chances de sucesso e reduzir custos operacionais e ambientais. Não utiliza a falta de certeza científica ou econômica do potencial de invasão como critério para não agir rapidamente.

### **g. Acordo sobre Medidas Sanitárias e Fitossanitárias-SPS (1995)**

Tem por objetivo garantir que as medidas sanitárias e fitossanitárias, elaboradas por países-membros da Organização Mundial do Comércio - OMC não se transformem em obstáculos desnecessários ao comércio. Esse acordo define medidas sanitárias e fitossanitárias, entre elas destacam-se: proteger a vida animal e vegetal dentro do território do país-membro dos riscos surgidos da entrada, contaminação e disseminação de pestes, doenças, organismos contaminados ou causadores de doenças; proteger ou limitar outros danos dentro do território do país-membro, decorrentes da entrada, contaminação ou disseminação de pestes.

### **h. Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção – Cites**

Representa um dos acordos ambientais mais importantes para preservação das espécies ameaçadas pelo comércio, e atualmente possui 180 países signatários e na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Uso não navegáveis dos Cursos de Águas Internacionais de 1997.

O foco da convenção, contudo, não contempla prevenção, controle e erradicação de espécies exóticas ou seu manejo, mas sim a preservação de espécies ameaçadas de extinção em razão de sua comercialização.

## **NORMATIVAS NACIONAIS RELATIVAS AO TEMA**

Apesar de ainda não se ter uma legislação específica contendo uma política pública que verse sobre as espécies exóticas invasoras, algumas legislações se relacionam ao tema, como as descritas nos tópicos a seguir.

**a. Lei nº 5.197/1967 – Proteção da Fauna e Flora**

Dispõe sobre a proteção da fauna, e estabelece no artigo 4º que nenhuma espécie poderá ser introduzida no Brasil sem parecer técnico favorável e licença expedida na forma da lei.

**b. Lei nº 6.938/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente**

Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e define em seu art. 3º, inciso III, a poluição como:

“III – poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.”

**c. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**

Estabelece no art. 225 que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas; (...)

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente; (...)

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade.

**d. Lei nº 7.661/88 – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)**

O PNGC prevê o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira, observando normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com prioridade à sua conservação e proteção.

**e. Lei nº 9.537/1997 – Lei de Segurança do Tráfego Aquaviário (Lesta)**

Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional. Estabelece no art. 3º que cabe à Autoridade Marítima promover a implementação e a execução desta Lei, com o propósito de assegurar a salvaguarda da vida humana e a segurança da navegação, no mar aberto e hidrovias interiores, e a prevenção da poluição ambiental por parte de embarcações, plataformas ou suas instalações de apoio.

Essa Autoridade estabelece os requisitos referentes à prevenção da poluição por parte de embarcações, plataformas ou suas instalações de apoio.

**f. Lei nº 9.605/1998 – Lei dos Crimes Ambientais**

Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Estabelece, em seu art. 3º, pena de detenção, de três meses a um ano, e multa para aqueles que introduzirem espécime animal no País sem parecer técnico oficial favorável e licença expedida por autoridade competente e, em seu art. 61, sanções quando se disseminar doença ou praga ou espécies que possam causar dano à agricultura, à pecuária, à fauna, à flora ou aos ecossistemas.

O Decreto nº 3.179/1999, que regulamenta a referida Lei, além de definir o que é infração ambiental, facultou ao órgão competente as regras que disciplinam as penalidades

(Autoridade Marítima), no seu art. 61, acima referido combinado com o art. 70 da Lei nº 9.605/1998, transcrito abaixo, foram elaboradas as regras que disciplinam as penalidades, para o não cumprimento dos requisitos preventivos estabelecidos na Normam.

“ Art. 70 Considera-se infração administrativa ambiental toda ação ou omissão que viole regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do meio ambiente.

§ 1º São autoridades competentes para lavrar auto de infração ambiental e instaurar processo administrativo os funcionários de órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente - Sisnama, designados para as atividades de fiscalização, bem como os agentes das Capitania dos Portos, do Ministério da Marinha.”

**g. Lei nº 9.985/2000 – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**

Estabelece, em seu art. 31, a proibição da introdução, nas unidades de conservação, de espécies não autóctones, excetuando-se Áreas de Proteção Ambiental, Florestas Nacionais, Reservas Extrativistas e Reservas de Desenvolvimento Sustentável, bem como os animais e plantas necessários à administração e às atividades das demais categorias de unidades de conservação, de acordo com o que se dispuser em regulamento e no Plano de Manejo da unidade. Além disso, nas áreas particulares localizadas em Refúgios de Vida Silvestre e Monumentos Naturais podem ser criados animais domésticos e cultivadas plantas considerados compatíveis com as finalidades da unidade, de acordo com o que dispuser o seu Plano de Manejo.

**h. Lei Federal nº 9.966/2000 – Lei do Óleo**

Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em Águas sob Jurisdição Nacional, mas nada refere sobre bioincrustação.

**i. Lei Complementar nº 140/2011**

Define em seu art. 7º, inciso XVII, ações administrativas da União para controlar a introdução, no País, de espécies exóticas potencialmente invasoras que possam ameaçar os ecossistemas, *habitats* e espécies nativas.

**j. Decreto nº 1.265/1994**

Aprova a Política Marítima Nacional, que tem por finalidade orientar o desenvolvimento das atividades marítimas do País de acordo com os interesses nacionais.

**k. Decreto nº 2.519/1998**

Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, que enfatiza a importância da necessidade de promover a cooperação internacional, regional e entre os estados para conservação da diversidade biológica e a utilização sustentável do meio ambiente.

**l. Decreto 4.339/2002**

Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade. A Política Nacional da Biodiversidade estabelece, em um de seus objetivos específicos, que deverão ser inventariadas e mapeadas as espécies exóticas invasoras e as espécies-problema, bem como os ecossistemas em que foram introduzidas para nortear os estudos dos impactos gerados e ações de controle. Também estimula a realização de pesquisas para subsidiar a prevenção, erradicação e controle de espécies exóticas invasoras e espécies-problema que ameacem a biodiversidade, atividades da agricultura, pecuária, silvicultura e aquicultura, e a saúde humana.

**m. Decreto nº 6.514/2008**

Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e estabelece o processo administrativo federal para apuração dessas infrações. Estabelece sanções no seu art. 38 para importação e exportação de quaisquer espécies aquáticas, em qualquer estágio de desenvolvimento, bem como introduzir espécies nativas, exóticas ou não autóctones em águas jurisdicionais brasileiras, sem autorização ou licença do órgão competente, ou em

desacordo com a obtida.

**n. Norma da Autoridade Marítima nº 20/2005 (Normam 20)**

Estabelece requisitos referentes à prevenção da poluição por parte das embarcações em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), no que tange ao Gerenciamento da Água de Lastro. O sistema inicial tem como base fundamental a troca de água de lastro de acordo com a Resolução A.868(20) da Organização Marítima Internacional e a Convenção Internacional sobre Controle e Gestão da Água de Lastro e Sedimentos de Navios.

**o. Norma da Autoridade Marítima nº 23/2005 (Normam 23)**

Estabelece procedimentos referentes ao controle do uso de Sistemas Anti-incrustantes danosos ao meio ambiente marinho ou à saúde humana, de caráter obrigatório, para as embarcações brasileiras cujas obras vivas necessitam ser pintadas com Sistemas Anti-incrustantes e para as embarcações estrangeiras que docarem no Brasil para pintura das obras vivas, ou que forem afretadas em regime de Atestado de Inscrição Temporária (AIT).

**p. Resolução Conabio nº 49/2006 – Câmara Técnica Permanente sobre Espécies Exóticas Invasoras e designação das instituições envolvidas**

Cria a Câmara Técnica Permanente sobre Espécies Exóticas Invasoras (CTPEEI), com o objetivo de:

- disseminar entre os diferentes setores da sociedade informações sobre os impactos sociais, culturais e econômicos, e as consequências decorrentes dessas invasões;
- integrar os diversos setores públicos e privados visando à elaboração de estratégia nacional que implemente as recomendações da CDB, com ênfase para o Art. 8º, particularmente no que tange às alíneas:
  - › “promover a proteção de ecossistemas, habitats naturais e manutenção de populações viáveis de espécies em seu meio natural”;
  - › “impedir que se introduzam, controlar ou erradicar espécies exóticas que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies”; e
  - › “procurar proporcionar as condições necessárias para compatibilizar as utilizações atuais com a conservação da diversidade biológica e a utilização sustentável de seus componentes”.
- implementar as Metas Nacionais de Biodiversidade 2010 e Globais aprovadas pela CDB;
- elaborar instrumentos, de forma ampla e participativa, com o envolvimento da maior representatividade possível, tanto geográfica quanto institucional. Esses instrumentos deverão subsidiar a tomada de decisões e a implementação de ações na esfera governamental, bem como junto aos diferentes setores da sociedade;
  - incentivar a criação de fóruns de discussão sobre a temática das espécies exóticas invasoras e as invasões biológicas, tanto em nível local quanto estadual e regional;
  - normatizar a gestão do uso das espécies exóticas invasoras no País, gerando instrumentos de Resoluções no âmbito da Conabio e do Conama.

**q. Resolução Conabio nº 5/2009 – Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras**

Tem como objetivo “Prevenir e mitigar os impactos negativos de espécies exóticas invasoras sobre a população humana, os setores produtivos, o meio ambiente e a biodiversidade, por meio do planejamento e execução de ações de prevenção, erradicação, contenção ou controle de espécies exóticas invasoras com a articulação entre os órgãos dos Governos Federal, Estadual e Municipal e a sociedade civil, incluindo a cooperação Internacional”. E em suas diretrizes apresenta que “Deveria dar-se prioridade a ações de prevenção de introdução de espécies exóticas invasoras entre os estados e dentro de um estado. Se a introdução da espécie invasora já ocorreu, a detecção precoce e a resposta rápida são decisivas para impedir seu estabelecimento. A resposta mais adequada é erradicar os organismos tão

logo seja possível. Caso a erradicação não seja possível, ou não se disponham de recursos para essa erradicação, deveriam ser implementadas medidas de contenção e medidas de controle de longo prazo”. São definidas como ações prioritárias a análise de risco, avaliação de impactos causados por espécies exóticas invasoras, Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras, elaboração de Planos ou Medidas de Ação para Erradicação, Contenção, Controle e Monitoramento e o controle de Espécies Exóticas Invasoras em Áreas Protegidas.

**r. Resolução Conabio nº 6/2013 – Metas Nacionais de Biodiversidade para 2020**

Dispõe sobre as Metas Nacionais de Biodiversidade para 2020. Essa resolução internaliza as Metas Globais de Biodiversidade de Aichi, definidas pela Convenção de Diversidade Biológica. Destaca-se a inclusão de uma meta específica para o tema de espécies exóticas invasoras, a saber: Meta 9 – “Até 2020, a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras deverá estar totalmente implementada, com participação e comprometimento dos estados e com a formulação de uma Política Nacional, garantindo o diagnóstico continuado e atualizado das espécies e a efetividade dos Planos de Ação de Prevenção, Contenção e Controle”.

**s. Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**

Evidencia a necessidade de proteção dos oceanos e das zonas costeiras, como também do uso racional de seus recursos vivos. A Agenda 21 considera também a possibilidade de adotar normas apropriadas no que diz respeito à descarga de água de lastro, com vistas a impedir a disseminação de organismos estranhos, e solicita que devam ser realizados estudos sobre o potencial de aquicultura com a aplicação de salvaguardas adequadas no que diz respeito à introdução de novas espécies. Contudo, a Agenda 21 não é uma legislação, mas uma ferramenta criada a partir da Eco 92 para gerenciamento de diversos assuntos em matéria ambiental.

## REFERÊNCIAS

Brasil. *Constituição, 1988*. “Constituição da República Federativa do Brasil – Promulgada em 05 de outubro de 1988” Organização dos textos, notas remissivas e índices por Juarez de Oliveira – 6ª edição, atualizada – São Paulo: Saraiva, 1992 (Série Legislação Brasileira).

Brasil. *Decreto nº 6.514/2008*. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm)

Brasil. *Decreto nº 1.265/1994*. Aprova a Política Marítima Nacional. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1990-1994/D1265.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D1265.html).

Brasil. *Decreto nº 2.519/1998*. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2519.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2519.html)

Brasil. *Decreto nº 4.339/2002*, institui princípios e diretrizes da Política nacional da Biodiversidade. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4339.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.htm)

Brasil. *Lei complementar nº 140/2011*, fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da CF/88. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LCP/Lcp140.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp140.htm)

Brasil. *Lei nº 5.197/1967*. Dispõe sobre a proteção à fauna e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L5197.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5197.htm).

Brasil. *Lei nº 6.938/1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm).

Brasil. *Lei nº 7.661/88*. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7661.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm).

Brasil. *Lei nº 9.537/1997*. Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9537.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9537.htm)

Brasil. *Lei nº 9.605/1998*. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm)

Brasil. *Lei nº 9.966/2000*. Prevenção, Controle e Fiscalização da Poluição Causada por lançamento de Óleo e outras Substâncias Nocivas ou Perigosas em Águas sob Jurisdição Nacional. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9966.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9966.htm).

Brasil. *Lei nº 9.985/2000*. Regulamenta o art. 225 da CF/88 e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)

Brasil. Marinha do Brasil. Normas da Autoridade Marítima (Norman) 20 Gerenciamento da Água de Lastro de Navios. Recuperado de [http://www.dpc.mb/Normam/nma\\_20/normam20.pdf](http://www.dpc.mb/Normam/nma_20/normam20.pdf).

Brasil. Normas da Autoridade Marítima (Norman) 23 Controle de Sistemas Anti-incrustantes Danosos em Embarcações. Recuperado de [http://www.dpc.mb/Normam/nma\\_23/normam23.pdf](http://www.dpc.mb/Normam/nma_23/normam23.pdf)

Convenção Das Nações Unidas Sobre O Direito Do Mar. Recuperado de <http://www.gddc.pt/siii/docs/rar60B-1997.pdf>

Convention on Biological Diversity Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>  
Creed, J.C. & Oigman-Pszczol, S.S. (2011). *Informe Nacional sobre a Bioinvasão e Manejo do Coral-Sol no Brasil*. Projeto Coral-Sol, Instituto Biodiversidade Marinha, 13pp.

International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004. (BWM). Recuperado de [http://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/convencao\\_bwm.pdf](http://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/convencao_bwm.pdf)

International Convention on the Control of Harmful Anti-Fouling Systems on Ships, 2001. Recuperado de [http://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/afs\\_2001.pdf](http://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/afs_2001.pdf)

International Union For Conservation Of Nature. Recuperado de <https://www.iucn.org/>

Precht, W.F., Hickerson, E.L., Schmahl, G.P. & Aronson, R.B. (2014). *The invasive coral *Tubastraea coccinea* (Lesson, 1829): implications for natural habitats in the Gulf of Mexico and the Florida Keys*. Gulf of Mexico Science 32, 55-59.

Resolution A.868(20) adopted on 27 november 1997 Recuperado de [http://globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Resolution-A.868\\_20\\_english.pdf](http://globallast.imo.org/wp-content/uploads/2015/01/Resolution-A.868_20_english.pdf)

Silva, A.G. (2014). *"Vivendo com o inimigo: Competição entre os corais invasores *Tubastraea* spp. e a esponja *Desmapsamma anchorata* na Baía de Ilha Grande, RJ"*. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.



# Anexos

## ANEXO I

### PRINCIPAIS RESULTADOS CIENTÍFICOS DO *WORKSHOP* DE CONTROLE, MONITORAMENTO E MITIGAÇÃO DA INVASÃO DO CORAL-SOL NO BRASIL – BRASÍLIA 21 E 22 DE NOVEMBRO DE 2016

O *Workshop* Coral-sol, que ocorreu entre os dias 21 e 22 de novembro de 2016, foi promovido pelo Grupo de Trabalho Coral-sol, da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – Cirm, que conta com representantes de diversas instituições de Governo, sociedade e representantes da iniciativa privada. A coordenação do GT Coral-sol cabe ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC.

O objetivo principal do *Workshop* Coral-sol foi reunir especialistas nacionais e estrangeiros para discutir os desafios e estratégias efetivas para monitorar, controlar e mitigar as espécies invasoras de coral-sol no Brasil com base no melhor conhecimento científico disponível.

Os principais resultados obtidos e demonstrados abaixo foram agrupados em dois temas: 1. Manejo do Coral-sol; e 2. Gerenciamento de risco.

### Manejo do Coral-sol

#### **Quais os argumentos que orientam as ações de monitoramento/manejo?**

- Problema complexo que remete a soluções complexas e específicas;
- Caracterização parcial do ambiente natural, experimentos e modelagens indicam que existe variação do comportamento ecofisiológico do coral-sol diante da variação físico-química e biológica do ambiente, indicando invasão em diferentes estágios de consolidação;
  - Coral-sol responde a variações na profundidade, tipo de substrato, inclinação do substrato, temperatura, interações biológicas e salinidade;
  - Coral-sol apresenta impactos sobre outras espécies de corais no Brasil; e
  - Tamanho de colônia e densidade da população eleva o potencial reprodutivo do coral-sol.

#### **Há alternativas exequíveis e custo-efetivas de manejo dessas espécies no ambiente natural, visando erradicação e controle?**

- Priorização de métodos

#### **Macrozoneamento**

- Levantamento dos dados disponíveis (curto prazo), mapeamento e centralizar banco de dados com alimentação remota e validação dos dados;
- Identificação de áreas prioritárias (Unidades de Conservação, invasão recente e áreas de risco); e
- Entorno/amortecimento de Unidade de Conservação.

#### **Monitoramento**

- Pontos de maior risco (vizinhança com áreas de ocorrência do coral-sol);
- Unidades de Conservação; e
- Identificação de áreas prioritárias (Unidades de Conservação, invasão recente e áreas de risco).

#### **Erradicação**

- Áreas prioritárias: Unidades de Conservação, áreas de recente ou estágio inicial de invasão; e

- Métodos: Raspagem com sucção e armazenamento em sacos com malha de macrofauna, remover manual e periodicamente e desenvolvimento de técnicas alternativas de manejo.

### **Controle**

- Identificação de áreas prioritárias em elevado estágio de invasão: Unidades de Conservação, áreas de dependência de comunidades tradicionais vulneráveis (vinculadas a UCs);
- Métodos: Raspagem com sucção e armazenamento em sacos com malha de macrofauna, remover manual e periodicamente, desenvolvimento de técnicas alternativas de manejo e privação de oxigênio (envelopamento).

### **Prevenção**

- Definição de áreas para seleção de alvos de ação de prevenção;
- Gestão e manejo dos bancos de propágulos (facilitadores) e vetores (substrato); e
- Estudos de conectividade genética.

### **Quais as lacunas científicas identificadas?**

- Detalhar mapeamento e ocorrência;
- Caracterização do comportamento alimentar do coral-sol;
- Processos e serviços ecossistêmicos;
- Caracterização da frequência ideal do processo de manejo;
- Taxa de crescimento do coral-sol;
- Caracterização da variabilidade fenológica/viabilidade reprodutiva buscando maior eficiência do manejo;
- Aprimoramento de técnicas alternativas de manejo;
- Verificação da eficiência do manejo;
- Comportamento fisiológico do coral-sol com foco na busca de alternativas de manejo;
- Interações considerando diferentes cenários; e
- Conectividade e circulação.

### **Aplicações**

- *Workshop* prático de manejo, induzindo a interação para padronização de métodos e equipamentos de manejo (Ibama/ICMBio).

### **Gerenciamento de risco**

- Planejar ações de curto, médio e longo prazo que envolva tanto geração de informações, quanto análise do risco e desenvolvimento de métodos/mecanismos para prevenção de novas introduções e disseminação no território nacional (dispersão secundária), considerando a exequibilidade da aplicação/fiscalização de medidas de mitigação.
- A análise de risco considera o entendimento dos atributos do risco (eventos e consequências), incluindo a probabilidade da existência das ações impactantes (vetores: rotas, tipos de meios flutuantes, locais de atracação e fundeio (portos e estaleiros), tempo de permanência (atividade realizada), práticas de gestão da embarcação (livro de registro/bordo) etc.), sua priorização e os seus possíveis efeitos nos diferentes tipos de ambientes (diferentes fragilidades).
- Essa análise também deve considerar a priorização de objetivos de conservação (e.g., reduzir a taxa de dispersão através de vetores e prevenir a chegada em áreas de alto valor ecológico) e das estratégias (preventiva ou corretiva) de gestão. O mapeamento e a

caracterização das áreas (estruturas) “fonte” e possivelmente “receptoras” são fundamentais para análise de risco.

- Estratégia das ações tem uma abordagem geral, focada em bioincrustação (*border control*) para o caso de invasões recorrentes/novas/múltiplas, somada a uma estratégia específica focada no coral-sol no caso de sua vetorização/dispersão artificial (meios flutuantes) ou natural (larvas).

- Ações de mitigação não compreendem unicamente a eliminação da bioincrustação e controle dos vetores, entre outras coisas, mas também a geração e o compartilhamento de dados e informações, que devem interagir simultaneamente, retroalimentando o processo e as estratégias de gestão.

- Alinhamento com as boas práticas (orientações) indicadas na MEPC 207 (62) IMO, e outras experiências relacionadas ao gerenciamento de bioincrustação.

### **Recomendações**

- Tratar o problema da bioincrustação separado da água de lastro, considerando tanto os diferentes *pathways* quanto os instrumentos de manejo na análise de risco;

- Fomento à pesquisa (científica/tecnológica) com o incentivo via editais públicos e estratégicos/integrados (incluindo fundos setoriais) de forma a se criar uma estratégia nacional que envolva a geração e o compartilhamento de dados, que também considerem subsídios para análise de risco. Adicionalmente, a longo prazo, é fundamental que as ações de mitigação e gestão de risco devam ser lastreadas/embasadas nas melhores práticas científicas, desenvolvidas de forma contínua/permanente em um processo de retroalimentação e aprimoramento das práticas;

- Deve-se considerar uma estratégia de longo prazo que demanda a definição e manutenção de um arranjo institucional, legal e financeiro para governança e cadenciamento do processo de gestão do problema, incluindo a atualização de dados de entrada da análise de risco;

- Aproveitar a experiência da Nova Zelândia e da Austrália e construir a estratégia nacional sobre ela, com adaptações;

- Fórum virtual para aprofundamento das discussões;

- Criação de um Plano de Ação.

## ANEXO II

### DETALHAMENTO DAS ATIVIDADES ROTINEIRAS DOS SETORES

#### 1. Movimentação portuária no Brasil

Segundo dados da Antaq, as principais cargas movimentadas no sistema portuário brasileiro, considerando tanto portos quanto Terminais de Uso Privado (TUP) são:

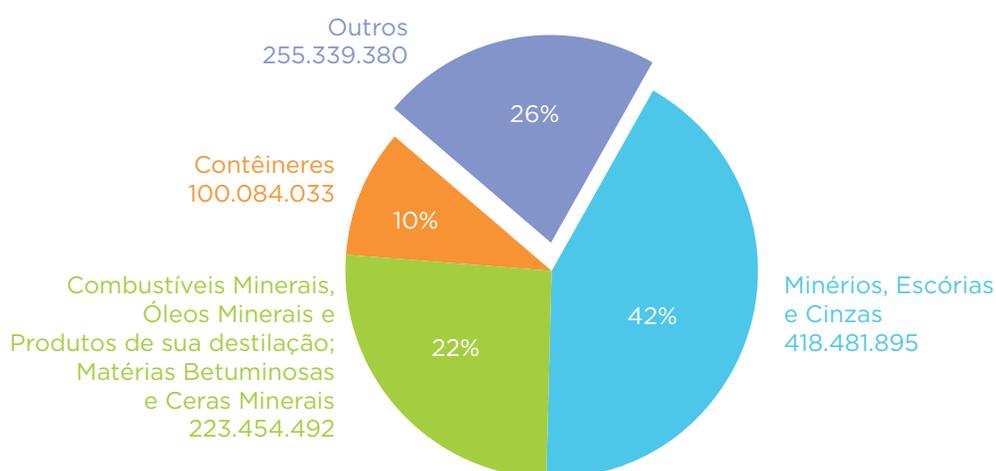
- Minérios, Escórias e Cinzas;
- Combustíveis Minerais, Óleos Minerais, Matérias Betuminosas e Ceras Minerais;
- Contêineres.

Juntos, esse grupo foi responsável por mais de 70% da carga transportada por vias marítimas no País nos anos de 2014, 2015 e 2016, considerando as navegações de cabotagem e de longo curso.

Em 2016, segundo anuário da Antaq, foram movimentadas no sistema portuário nacional, 997.359.00 toneladas de mercadorias. Entre essas movimentações, os Terminais de Uso Privado (TUP) apresentaram maior participação em relação aos portos brasileiros, registrando um percentual de 65,6% das movimentações.

A Figura 1 indica o percentual e a massa em toneladas das principais movimentações de carga no sistema portuário brasileiro no ano de 2016:

#### Movimentação Portuária em 2016 (t)



**Figura 1** – Movimentação portuária em toneladas das cargas mais significativas em 2016 no Brasil (fonte: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2016/>, acessado em 06/04/2017)

A movimentação de longo curso foi a principal atividade de embarcações no ano, sendo condizente com o que se verifica em relatórios anteriores da Antaq.

A Figura 2 apresenta as cargas mais significativas, em toneladas, movimentadas em 2016 para navegações de longo curso:

### Movimentação das cargas mais representativas para navegação de longo curso em 2016(t)



**Figura 2** – Movimentação das cargas mais representativas para navegação de longo curso em 2016 (Fonte: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2016/>, acessado em 06/04/2016).

A Figura 3 apresenta as cargas mais significativas, em toneladas, movimentadas em 2016 para navegações de cabotagem:

### Movimentação das cargas mais representativas para navegação de cabotagem em 2016(t)



**Figura 3** – Movimentação das cargas mais representativas para navegação de cabotagem em 2016 (Fonte: <http://web.antaq.gov.br/Anuario2016/>, acessado em 06/04/2016).

Entre as cargas transportadas, minérios de ferro, óleo mineral e seus derivados e contêineres apresentam-se como as mais representativas, entretanto, existe uma grande variedade de cargas além dessas que também fazem parte dessas atividades.

A navegação de longo curso apresenta uma movimentação muito superior à de cabotagem, sendo composta em grande parte por minério, escórias e cinzas. A quantidade desse tipo de mercadoria transportada em navegações de longo curso é superior à totalidade

de carga transportada em navegações de cabotagem.

A navegação de cabotagem, por sua vez, apresenta intensa movimentação de óleos minerais e seus derivados, apresentando também um número relativo de mercadorias de minérios, escórias e cinzas, porém, muito inferior ao primeiro.

Considerando a movimentação de minérios, escórias e cinzas, tanto em navegações de longo curso quanto de cabotagem, essa atividade concentra-se principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste.

Com relação à movimentação de óleos minerais e seus derivados, a maior parte dos terminais também localizam-se no Sudeste e Nordeste, porém, existem alguns terminais na região Sul que também apresentaram relevância de atividades quando avaliados no período de 2016.

No transporte de contêineres, o porto de Santos em São Paulo apresenta uma grande dominância desse tipo de atividade, porém, existem sistemas portuários com relevante movimentação também nas regiões Sul e Nordeste do Brasil.

## 2. Descrição do volume de frota aquaviária de cabotagem do País: principais rotas e produtos comercializados/transportados

A cabotagem é realizada por Empresas Brasileiras de Navegação – EBN, onde há preferência para o emprego de navios de bandeira brasileira. No caso de indisponibilidade de embarcação de bandeira brasileira a legislação permite que as EBN afretem embarcação de bandeira estrangeira.

Na movimentação de granéis sólidos/carga geral não containerizada, há movimentação de bauxita, madeira e bobinas de aço de forma regular para atender a projetos de longo prazo. Também existem movimentações pontuais de sal, trigo, milho, produtos químicos, etc. que variam de acordo com a demanda.

Nos granéis líquidos há movimentação de produtos químicos, álcool, além de petróleo e seus derivados que representam mais de 60% da movimentação da cabotagem.

Entre os principais produtos transportados na cabotagem nacional no ano de 2016, conforme Figura 3, estão os granéis líquidos e gasosos com 114.615.298 toneladas (77%), granéis sólidos com 17.756.779 toneladas (11,9%), cargas containerizadas com 10.582.849 toneladas (7%) e carga geral com 5.995.486 toneladas (4%).

No longo curso, os principais produtos transportados no ano de 2016, conforme Figura 4, são os granéis sólidos com 568.925.068 toneladas, que representam cerca de 77% do total, além das cargas containerizadas com 76.451.776 toneladas (10%), os granéis líquidos e gasosos com 64.640.593 toneladas (9%) e as cargas gerais com 31.539.803 toneladas (4%).

### Perfil de Carga em ton. (2016)

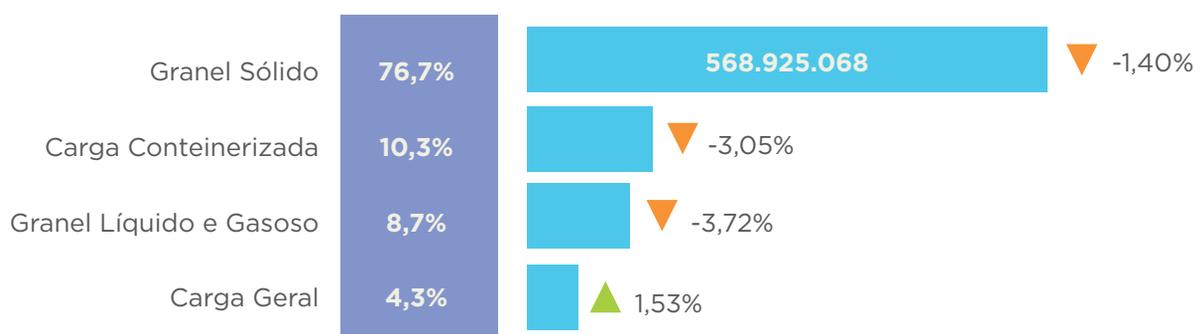


Figura 4 – Perfil de carga de Longo curso em 2016 - Fonte - <http://www.antaq.gov.br/anuario/>

### 3. Logística e dinâmica das operações de Construção naval *Off-shore*

O processo de fabricação de embarcações é complexo e envolve planejamento, e programação das ações de produção e montagem, além de exigir um arranjo físico específico de determinadas áreas dentro do estaleiro para otimizar os processos construtivos.

Trata-se de uma indústria em expansão, imersa em uma série de mercados globais de alta competitividade que são caracterizados por serem extremamente dinâmicos. Essa situação obriga os estaleiros em focar seus esforços em otimizar plantas e processos visando maior eficiência e produtividade, redução de custos e prazos, aliado à alta tecnologia.

Em geral, um estaleiro dispõe em sua planta, além do parque industrial, de área administrativa e de apoio, de uma infraestrutura composta por diques secos, berços de atracação, carreiras e cais para diversos tipos de embarcações, desde navios, barcos militares até aquelas de maior porte como, p.ex., as voltadas para o setor de óleo e gás: plataformas de produção de petróleo, sondas de perfuração, navios petroleiros, gaseiros, navios de apoio, entre outros.

O funcionamento de um estaleiro tem uma relação direta com o recebimento de cargas e de mão de obra, não podendo prescindir de estruturas apropriadas para essas atividades. Tais estruturas são em geral destinadas à construção, atracação, acostamento e docagem de embarcação e se encontram em contato direto com a água, seja marítima ou fluvial.

O processo construtivo de uma embarcação normalmente se desenvolve em um dique seco, recinto construído em área escavada em terra à beira de um braço de água (mar ou rio), de forma a possibilitar a construção / montagem do casco e a montagem dos blocos previamente construídos nas oficinas. Em uma das suas extremidades se comunica com a água por meio de uma porta estanque, também denominada porta-batel. Após a conclusão dos trabalhos de construção de uma embarcação, a água é bombeada até um nível que possibilite a abertura dessa porta com segurança, sem que o caudal da entrada ponha em risco a estabilidade da embarcação, que é retirada do dique cuidadosamente por rebocadores.

Os diques secos (Figura 5) são utilizados também para o recebimento de embarcações para a realização de atividades de vistorias, limpeza ou manutenção e reparo dos cascos. Nesses casos, após a entrada das embarcações no dique, fecham-se as portas e inicia-se o processo de escoamento da água por bombeamento, de maneira a permitir que elas se assentem nos picadeiros para a realização das atividades nos cascos.

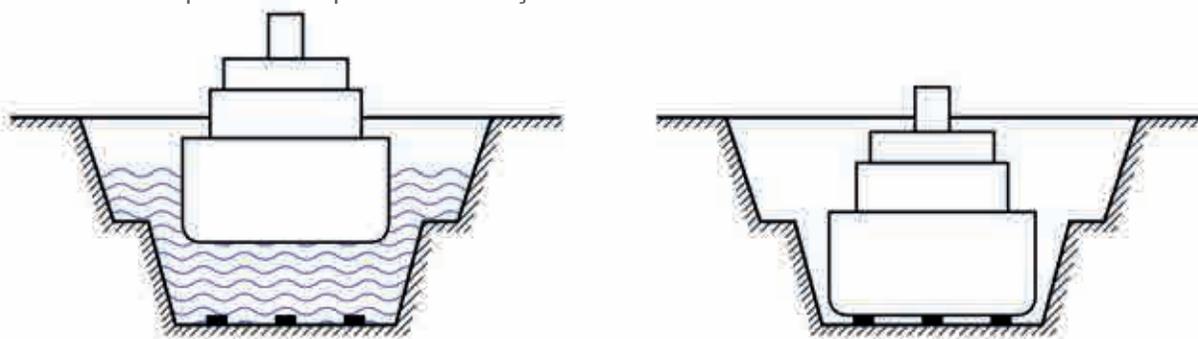
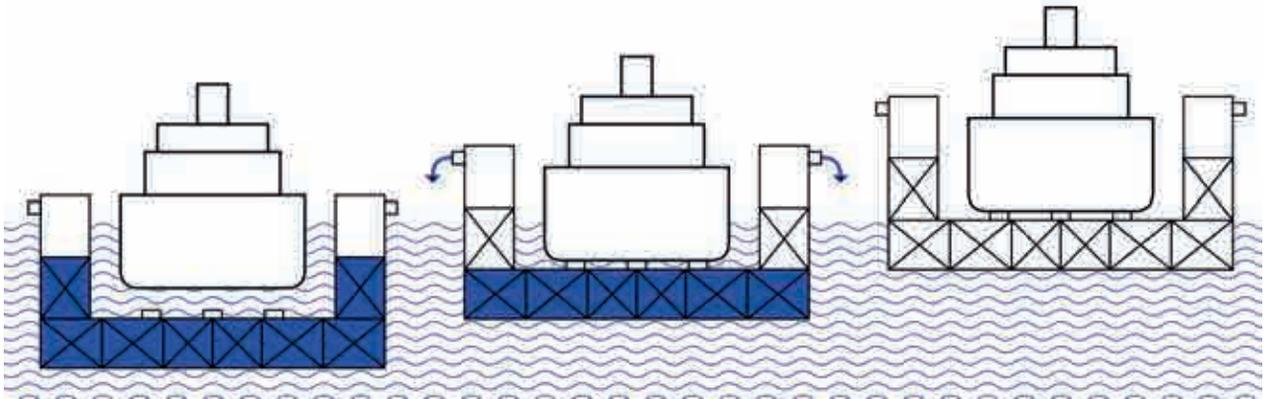


Figura 5 – Seção Transversal de um dique seco com e sem água

O dique flutuante representa outro tipo de estrutura destinada ao processo construtivo de embarcações nos estaleiros. Trata-se de uma estrutura móvel no mar, construído em forma de “U”, podendo ser imerso ou submerso, a depender de seus tanques de lastreamento, que, por sua vez, podem ou não ser preenchidos com água. Assim, se os tanques se encontram vazios, permanece acima do nível da água, o que é apropriado para construir ou reparar uma embarcação. Na situação inversa, se tanques estiverem cheios, o dique desce abaixo do

nível do mar. Tal movimentação de nível permite, conforme o lastro dos tanques, não apenas o lançamento de uma embarcação recém-construída na água, ou a entrada de outra para realização de atividade de reparo, manutenção ou vistoria (Colin & Pinto, 2006.).



**Figura 6** – Seção Transversal de um dique flutuante com variações de nível conforme o lastreamento dos tanques

Segundo Colin e Pinto (2006), outro elemento que consta da infraestrutura de um estaleiro é a carreira, construído em posição inclinada acima do nível do mar, sendo o casco sustentado por trilhos, podendo ser de dois tipos conforme o tipo de lançamento do casco na água: 1. Lateral: nessa modalidade o navio, após a conclusão dos trabalhos, apoia-se de lado em um plano inclinado, desliza sobre os trilhos e é lançado lateralmente na água; 2. Popa: nessa condição a embarcação é posicionada na direção do plano inclinado, paralelo aos trilhos, sendo lançado de popa na água.

Outra estrutura a ser considerada são os berços de acabamento, locais para onde são levados os cascos em segurança após o lançamento na água, para receber o acabamento: atividades como instalação da rede de distribuição elétrica, dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado, das tubulações, junções, pintura, isolamento, além de estruturais.

Por fim, o cais é uma estrutura usualmente utilizada para acostagem de embarcações, geralmente constitui uma plataforma de concreto construída sobre estacas, de maneira a possibilitar o embarque e desembarque de passageiros ou de cargas, podendo ser utilizado também para integração e montagem de módulos das embarcações e reparos na sua parte superior.

Destaca-se que todas as embarcações que atracam nos cais dos estaleiros cumprem o atendimento a uma série de convenções internacionais, bem como leis e regras específicas de cada país, sendo aqui a Marinha do Brasil responsável pelo setor naval. No caso de convenções internacionais, atende às normas estabelecidas pela *“International Maritime Organization – IMO”*, órgão da ONU, e sua execução é garantida pelos países signatários.

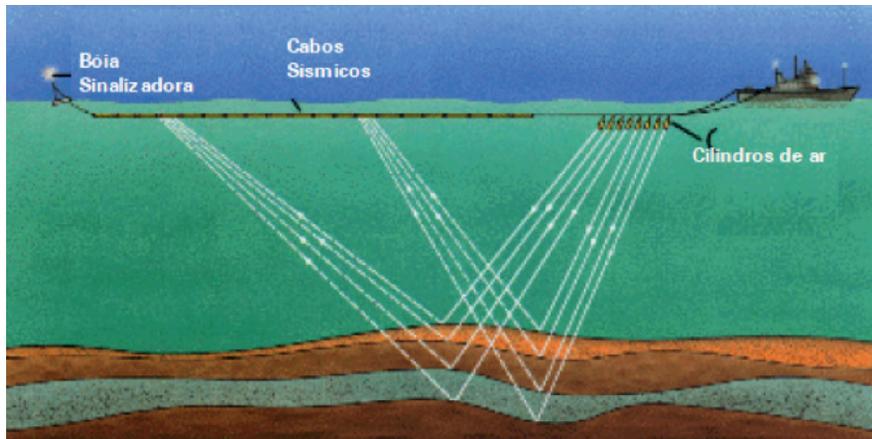
## 4. Logística e dinâmica das operações de Óleo e Gás

### 4.1 Sísmica

O método sísmico, ou sísmica de exploração de hidrocarbonetos, visa modelar as condições de formação e acumulação de hidrocarbonetos na região de estudo. A atividade de sísmica permite um maior conhecimento sobre a situação atual dos reservatórios e fornece informações para o gerenciamento e otimização da atividade de produção dos campos de petróleo e gás, visando incremento da produção nacional de energia.

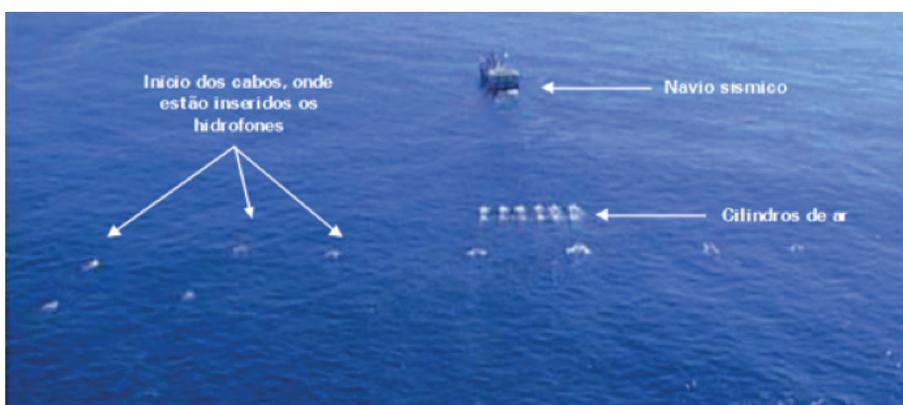
A sísmica baseia-se em métodos acústicos, ou seja, utilizam-se ondas sonoras. Um dos

métodos mais comumente utilizados é a sísmica de reflexão. Essas ondas acústicas são geradas por uma fonte (sonora) que libera ar comprimido a alta pressão diretamente na água. Essas ondas sonoras atingem o fundo do mar, onde “mapearão” as camadas rochosas do fundo do oceano e serão refletidas de volta. Ao retornarem, essas ondas são registradas por uma grande quantidade de sensores (hidrofonos), como mostra a Figura 7. A energia captada pelos hidrofonos é convertida em sinais digitais que serão interpretados, posteriormente, por especialistas.



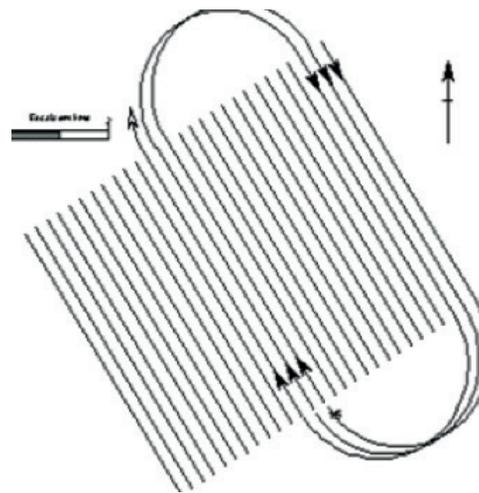
**Figura 7** – Ondas sísmicas liberadas pelas fontes sonoras, sendo refletidas para os cabos sísmicos, onde serão registradas pelos hidrofonos. Fonte: Petrobras, 2009a.

Toda atividade de pesquisa sísmica, inclusive as manobras do navio sísmico e dos equipamentos rebocados, acontece dentro de uma área denominada de “Área da Atividade”. Por rebocar um conjunto de cabos com de 3.000 m a 12.000 m de comprimento, os navios sísmicos possuem capacidade de manobra muito restrita e deslocam-se a uma baixa velocidade, de 3 a 4 nós (aproximadamente 5,5 km/h a 8 km/h). O navio de pesquisa sísmica também segue a uma velocidade constante e sem interrupções para que os cabos não percam a tração e se sobreponham, o que poderia danificar o equipamento e comprometer as atividades (Figura 8).



**Figura 8** – Esquema de deslocamento de navio sísmico, arranjo das fontes sonoras e cabos sísmicos. Fonte: Petrobras, 2009a.

O navio seguirá trajetórias retilíneas previamente estabelecidas (transectos), como mostra a Figura 9. O tempo que o navio sísmico percorrerá cada transecto dependerá do comprimento dessa trajetória, podendo durar algumas horas. Além disso, são necessárias mais duas horas, em média, para que o navio sísmico faça a manobra de retorno e inicie outro transecto. A duração do levantamento sísmico dependerá da área a ser mapeada.



**Figura 9** – Trajetórias retilíneas de deslocamento de navio sísmico. Fonte: Petrobras, 2009a.

Devido à manobrabilidade restrita, o navio sísmico tem dificuldade de desviar de outras embarcações que estejam na sua rota. Por esse motivo, um barco assistente fica sempre posicionado próximo ao navio sísmico. Com deslocamento mais rápido, esse é encarregado da proteção dos equipamentos e orientação de embarcações para áreas seguras.

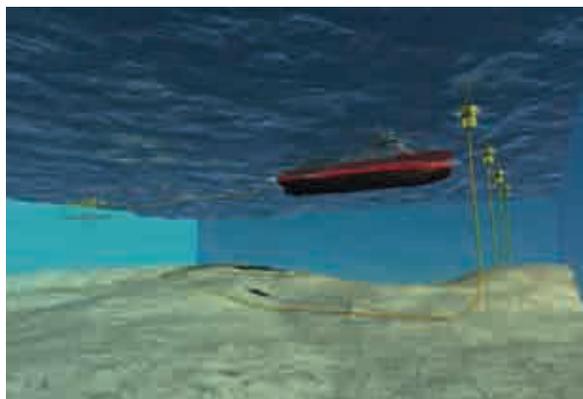
Por medida de segurança, todas as embarcações devem permanecer afastadas a uma distância de 6 milhas náuticas (11 km) do navio sísmico e seus aparatos.

Embarcações de apoio são responsáveis pelo abastecimento (combustível, alimento e materiais de reposição) dos navios e, também, pelo transporte de resíduos gerados nos navios até a base de apoio em terra.

Geralmente, as embarcações de apoio e assistentes se deslocam entre a área da atividade até as bases de apoio, a cada 30 dias, o que pode variar, a depender das características de cada serviço. O navio sísmico raramente deixa a área da atividade.

A utilização dos terminais portuários pelas embarcações de atividade sísmica é muito dinâmica, a depender da carteira de projetos, empresa contratada e, principalmente, localização dos levantamentos nas diferentes bacias sedimentares, bem como da disponibilidade dos portos à época do serviço.

A tecnologia de cabo de fundo ou *Ocean Bottom Cable* (OBC) é outro exemplo de sísmica de reflexão (Figura 10). O sistema de pesquisa com tecnologia OBC é composto por cabos de fundo posicionados sobre o solo oceânico, boias de registro na superfície, instaladas na extremidade dos cabos, e o navio fonte rebocando os canhões de ar, sistema este responsável pela produção do som emitido através da coluna de água.



**Figura 10** – Ilustração do sistema de pesquisa com tecnologia de cabo de fundo. Fonte: Petrobras, 2009b.

Finalmente, após a conclusão da atividade, os dados adquiridos são processados, e o resultado da pesquisa é uma imagem que apresenta as camadas de sedimento abaixo do fundo do mar, bem como: os limites dos reservatórios, a indicação ou não da presença de petróleo ou gás na área entre outros. Essas informações servirão para o gerenciamento das áreas de produção de petróleo e gás.

#### 4.2 Atividade de Perfuração

O processo de perfuração de poços compreende, sinteticamente, as seguintes etapas principais: mobilização da sonda; perfuração do poço; desmobilização da sonda e desativação. Inicialmente são abordados aspectos gerais a respeito das sondas.

##### • Aspectos Gerais

Nas atividades de perfuração, completação e intervenção<sup>4</sup> podem ser utilizados três tipos de sondas: navio-sonda, semissubmersíveis e autoelevatórias (Figura 11). As características dos tipos de sonda são apresentadas na Tabela 1 e maiores detalhes no item de Atividade de Produção. A escolha da sonda para determinada atividade depende de diversos fatores como: lâmina-d'água, tipo de posicionamento, capacidade do *Blowout Preventer* (BOP), etc.



Figura 11 – Exemplos de tipos de sondas: Navio-Sonda, Semissubmersíveis e Autoelevatórias.

Atualmente, apenas uma das operadoras atuando no Brasil, opera com trinta (30) sondas afretadas e uma (01) própria. Há outras sondas próprias que estão fora de operação ou em alienação ou em hibernação.

As sondas utilizam terminais portuários para desembarque de resíduos e embarque e desembarque de equipamentos e diversos materiais necessários às operações e manutenção das sondas. Os portos utilizados variam com a localização da sonda.

##### • Mobilização da Sonda

As sondas de perfuração podem ser transportadas por rebocadores ou através de propulsão própria até o local da perfuração, onde permanecem posicionadas nas coordenadas do poço durante o processo de perfuração.

A unidade é mantida na locação da perfuração através de um sistema de posicionamento dinâmico ou de um sistema de ancoragem convencional (âncoras e linhas de amarração). Atualmente a maioria das sondas que atuam no Brasil utiliza o posicionamento dinâmico.

No sistema de posicionamento dinâmico, não existe ligação física da plataforma com

4- Completação: operações realizadas em um poço, logo após a sua perfuração, com a finalidade de permitir o início de sua produção, não sendo efetuadas necessariamente pela sonda responsável pela perfuração do poço. Compreendem operações de instalação de equipamentos como coluna de produção, árvore de natal, bombas etc., variando de acordo com as características de cada poço.

Intervenção: conjunto de operações realizadas em um poço que já iniciou sua produção, tendo como objetivo o reestabelecimento ou otimização. Pode compreender operações que visem o acesso a outra região do poço, troca de equipamentos, etc.

o fundo do mar, exceto pelos equipamentos de perfuração. O sistema é composto por propulsores azimutais de orientação fixa ou variável (*thrusters*), que funcionam baseados em processamento computacional de informações de localização fornecidas por satélites (tipo GPS), ou por sensores acústicos baseados em sinais recebidos de emissores de som (transdutores), dispostos no fundo do mar por meio de embarcações de apoio.

No sistema de ancoragem convencional, o posicionamento da sonda é mantido por meio de um conjunto de âncoras dispostas radialmente ao redor da locação, presas, individualmente, à sonda por meio de linhas de ancoragem de composição mista (amarras, cabos de aço e cabos de poliéster). O transporte da sonda e a ancoragem são realizados por embarcações de apoio do tipo *Anchor Handling Tug Supply Vessel* (AHTS).

Entre uma locação e outra, os equipamentos submarinos são retirados da água e transportados sobre o convés das sondas.

### • Operações das sondas

As sondas não são todas iguais e nem estão equipadas da mesma maneira. As principais características são os limites de operação por lâmina-d'água (LDA), carga na torre de perfuração, capacidade de bombeio das bombas de lama de perfuração, capacidade de carga (*deck load*), pressões de trabalho do BOP, tancagem para fluidos de perfuração, capacidade para realizar teste de formação, sensibilidade às condições de mar, entre outros fatores.

A sonda é escolhida dependendo da LDA na locação, da profundidade final do poço, do tipo de atividade (perfuração exploratória, desenvolvimento de campo ou intervenção ou abandono), quando estaria disponível, ou da necessidade de MPD/MCD<sup>5</sup>.

Sondas mais simples são utilizadas para operações de intervenções que exigem rapidez e flexibilidade para evitar queda ou mitigar redução de produção.

As sondas trocam constantemente de bacia sedimentar em função da quantidade de poços, necessidade de intervenção e poços, e da própria disponibilidade de determinado tipo de sonda, salientando-se que são específicas para diferentes tipos de atividade.

### • Inspeções e Docagens

A Autoridade Marítima Brasileira e as Sociedades Classificadoras<sup>6</sup>, em conformidade com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida no Mar (em inglês, "*Safety of Life at Sea Convention*" – SOLAS 1974/1988) da IMO, requerem que as embarcações mercantes com arqueação bruta > 500, realizem ao menos duas inspeções na parte externa do casco em um período de cinco anos. A primeira vistoria chama-se Intermediária, e se trata de uma inspeção subaquática com auxílio de mergulhadores, e a segunda, de Renovação, ocorre em dique seco com raspagem do casco e posterior pintura com tinta anticorrosiva e anti-incrustante.

O intervalo máximo entre as inspeções é de 36 meses e a inspeção de Renovação é realizada conjuntamente com a renovação dos demais certificados do navio (vistoria harmonizada). Para embarcações com mais de 15 anos de idade é exigido que a inspeção intermediária seja

5- *Mud Pressure Drilling* (MPD) e *Mud Capping Drilling* (MCD): conjunto de técnicas e equipamentos adicionais utilizados para se perfurar, completar ou intervir em poços onde há possibilidade de ocorrerem perdas severas de fluido para formação, ou de atravessar zonas depletadas que poderiam ser danificadas pelo método tradicional de perfuração (sem MPD/MCD). Não é um equipamento-padrão, e temos poucas sondas equipadas e habilitadas para proceder com tais operações.

6- Sociedades Classificadoras: as companhias de seguro desenvolveram métodos de classificação de risco das embarcações, levando a um sistema de classificação e ao estabelecimento de Sociedades Classificadoras. Estas são entidades técnicas de nível internacional, independentes, sem vínculos com armadores, operadores, estaleiros, governos ou outros engajados comercialmente com a fabricação, equipagem, reparo ou operação de navios. As Sociedades Classificadoras promovem a regularização, controle e certificação de embarcações nos aspectos relativos à segurança da navegação, salvaguarda da vida humana e da prevenção da poluição ambiental e dispõem do conhecimento para verificar o atendimento dos navios às regulamentações nacionais e internacionais da IMO. Além disso, essas sociedades (ex.: DNV, ABS, LR, BV) publicam suas próprias regras (incluindo requisitos técnicos) em relação ao projeto, construção e vistorias de navios e têm capacidade de aplicar, manter e atualizar essas regras e regulamentos com recursos próprios em prazos regulares. Seus regulamentos são atualizados periodicamente.

realizada em dique seco.

Especificamente, no caso dos navios e embarcações de apoio, durante as inspeções com docagem é verificada a situação da parte externa do costado/fundo do casco (desgaste de chapas e soldas) inclusive com relação à corrosão, deformações, além de inspeções internas da estrutura dos tanques e conveses com verificação de espessura de chapas e reforços, sendo que, caso necessário, é feita a renovação estrutural. Também são verificadas a estanqueidade de válvulas de costado, avaliação de amarras e âncoras, folgas do leme, verificação de vedação do eixo propulsor, proteção catódica, pintura do casco, etc. A pintura externa do casco é renovada, devendo, para isso, o casco ser lavado e tratado adequadamente para a aplicação do novo esquema de pintura (anticorrosiva e anti-incrustante). As docagens podem ser efetuadas em dique seco, dique flutuante e *Syncrolif* (sistema que permite o deslocamento da embarcação por um conjunto de trilhos) e são emitidos Relatórios de Docagem contendo fotos dos aspectos de interesse.

No Brasil as determinações da Solas são refletidas na Normam-01/DPC (2005) – Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto.

Cabe notar que as embarcações de bandeira estrangeira operando em águas brasileiras devem atender aos requisitos internacionais, os da sua bandeira e os determinados na Normam-04/DPC – Normas da Autoridade Marítima para Operação de Embarcações Estrangeiras em Águas sob Jurisdição Nacional.

No caso de plataformas de perfuração e produção de petróleo e gás, que foram projetadas para operar por longos períodos sem efetuar docagem a seco, as Autoridades permitem que ambas as vistorias Intermediária e de Renovação sejam subaquáticas e realizadas na locação por meio de mergulhadores ou ROV, de acordo com o preconizado no Código para a Construção e Equipamentos de Unidades de Perfuração Móveis *Offshore* da IMO (em inglês, *Code for the construction and equipment of Mobile Offshore Drilling Units - MODU-89/ MODU-2009*).

Salienta-se que a finalidade de todas as inspeções é estrutural, sendo verificados o estado das chapas e das soldas, a existência de pontos de corrosão ou trincas geradas por fadiga, entre outros aspectos. Essa inspeção é realizada através da verificação de pequenas áreas amostrais, onde a cobertura bioincrustante é removida para permitir o uso de métodos de medição. Durante a vistoria, são produzidas fotos e filmagem de todo o casco e o resultado é consolidado em um Relatório de Inspeção.

Assim, esse tipo de embarcação é submetido a uma inspeção de final de ciclo (a cada 5 anos), além das inspeções intermediárias (metade do ciclo, ou seja, a cada 2,5 anos). O local de realização da inspeção depende da oportunidade. Caso a unidade não esteja docada/fundeada em estaleiro, a inspeção é feita por mergulhador, podendo se estender por até duas semanas. Durante a inspeção, o representante da classificadora acompanha todo o trabalho.

As inspeções periódicas (*Special Periodical Survey* – SPS) ocorrem a cada 5 anos, sendo que uma inspeção intermediária é realizada até o terceiro ano, após o último SPS. Em alguns casos a inspeção pode ser adiada, após negociação com a classificadora (ex.: extensão para 7,5 anos).

Para as inspeções de 5 anos, a decisão entre docar a sonda (em dique seco ou em doca comum) ou até mesmo permanecer na locação, depende de acordo entre o Armador, o afretador, a Classificadora e a Bandeira. Essa decisão baseia-se na condição da embarcação, histórico das últimas inspeções, percentual de soldas do casco/estrutura e demais equipamentos que serão inspecionados. Na prática, as inspeções de 5 anos costumam ser realizadas em docagem, principalmente para sondas DP, pois, além da inspeção de casco também estarão vencendo as manutenções de 5 anos dos equipamentos críticos da

sonda (*Thurster*, Sistema DP, TDS, Bloco, *Drawworks*, etc.). Essas docagens geralmente são realizadas em estaleiros ou águas abrigadas. A docagem em dique seco não é necessária para essas inspeções, a menos que haja necessidade de reparos estruturais no casco.

Usualmente, para as inspeções intermediárias, de escopo menor, é feito o *Under Water Survey In Lieu of Dry Dock* – UWILD, consistindo da inspeção do casco com mergulhadores ou ROV. Nessas inspeções, são feitas limpezas em alguns pontos específicos (caixas de mar, junções de soldas, etc.) para permitir a efetividade da própria inspeção. A retirada das incrustações, o tratamento/retirada de chapas com corrosão e a pintura são determinados caso a caso, a depender do estado e histórico da sonda.

- **Perfuração de Poços**

O processo de perfuração de poços é realizado através de uma broca presa à extremidade de uma coluna de tubos de aço e consiste, basicamente, de uma combinação de rotação, peso e jateamento, aplicados sobre as formações rochosas em subsuperfície.

Os poços são perfurados em etapas (também conhecidas por “fases”), caracterizadas por diferentes diâmetros de brocas e dos respectivos revestimentos utilizados. Para todos os poços estão previstos equipamentos denominados de “árvore de natal”, constituídos por um conjunto de válvulas e um sistema de controle que permite que o petróleo siga dos poços para as futuras plataformas de produção.

- **Desmobilização da sonda**

Ao término da atividade de perfuração, o riser e os demais equipamentos de perfuração são recolhidos à sonda, quando, então, se inicia o processo de deslocamento para outra locação, através de propulsão própria ou através de barcos rebocadores.

No caso da utilização do sistema convencional de ancoragem, como nas sondas semi-submersíveis, após a perfuração, as âncoras inicialmente fixadas no assoalho marinho (exceto as âncoras torpedo), assim como as amarras e linhas de ancoragem, são desconectadas e recolhidas por barcos rebocadores.

- **Desmobilização**

As etapas da atividade de desmobilização compreendem a construção/instalação de tampões no poço, que podem ser de cimento (mais utilizados) ou mecânicos, e a realização de teste de pressão, quando cabíveis, seguindo-se os critérios descritos na Portaria ANP nº 25/02. Também é prevista a instalação de uma capa de abandono, nos casos de abandono temporário, e a realização de inspeção submarina utilizando *Remote Operated Vehicle* (ROV), quando necessário. Posteriormente, ocorre a desmobilização da plataforma de perfuração e o deslocamento para outra locação.

### **4.3 Atividade de Produção**

A atividade de produção de óleo e gás consiste na instalação de um sistema definitivo composto por uma Unidade Estacionária de Produção e de infraestrutura submarina associada, visando à produção e escoamento de petróleo e gás natural do respectivo campo.

Na concepção do projeto, a escolha do tipo de unidade de produção é baseada em função de fatores, tais como: a lâmina-d'água, número de poços, capacidade de armazenamento de óleo e aspectos ambientais, de segurança e operacionais.

A Tabela 1 apresenta os tipos de unidades de produção, que variam de acordo com a finalidade a que se destinam e a área em que vão atuar, bem como um quadro-resumo com as características dessas unidades.

A seguir são apresentados os tipos de plataformas utilizadas no mundo.

**Tabela 1. Tipos de Unidades de Produção e Perfuração.**

	Fixa	Autoelevável (ou autoelevatória ou jack-up)	Semissubmersível
<b>Lâmina-d'água (profundidade no local da instalação/operação)</b>	Até 300 metros.	Até 150 metros.	Mais de 2.000 metros (pode ser instalada em grandes profundidades graças aos sistemas de ancoragem modernos).
<b>Como é</b>	Funciona como uma estrutura rígida, fixada no fundo do mar por um sistema de estacas cravadas.	Tem pernas que se autoelevam. Ao chegar à locação, um mecanismo faz as pernas descerem e serem assentadas no solo marinho.	Plataforma flutuante, estabilizada por colunas. Pode ser ancorada no solo marinho ou dotada de sistema de posicionamento dinâmico, que mantém a posição da plataforma de forma automática.
<b>Atividade de perfuração</b>	Sim.	Sim.	Sim (algumas podem ser só de produção).
<b>Atividade de produção</b>	Sim.	Não.	Sim (algumas podem ser só de perfuração).
<b>Onde é feito o controle dos poços</b>	Superfície.	Superfície.	Fundo do mar.
<b>Capacidade de armazenamento</b>	Não.	Não.	Não.
<b>Escoamento da produção</b>	Oleodutos	Não.	Oleodutos ou armazenamento em navios e posterior descarregamento nos terminais.
<b>Vantagem</b>	A instalação é mais simples e permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	A facilidade para mudar de locação e o comportamento de estrutura fixa, que permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	Especialmente projetada para ter pouco movimento.
<b>Exemplos</b>	Mexilhão, Pampo, Garoupa, Pargo 1A e 1B (geminadas), Peregrino A e B.	P-3, P-4, P-5, P-6, P-59.	P-51 (prod.), P-56 (prod.), P-10 (perf.), P-55 (prod.), P-18 (prod.), P-25 (prod.), P-40 (prod.), P-52 (prod.).

**Nota:** \* Este tipo de plataforma ainda não foi utilizado para a manutenção de poços no Brasil.

Fonte: [www.petrobras.com.br/tiposdeplataformas](http://www.petrobras.com.br/tiposdeplataformas) (modificado).

FPSO	FPSO Monocoluna	TLWP (plataforma de pernas atirantadas)	Navio-Sonda
Mais de 2.000 metros (pode ser instalada em grandes profundidades graças aos sistemas de ancoragem modernos).	Mais de 2.000 metros.	Até 1.500 metros.	Mais de 2.000 metros.
Plataforma flutuante, convertida a partir de navios petroleiros, na maioria dos casos. Assim como a semissubmersível, é ancorada no solo marinho.	Tem as mesmas características da FPSO, mas seu casco tem formato cilíndrico.	Plataforma flutuante, de casco semelhante a uma semissubmersível. É ancorada no fundo do mar por cabos ou tendões de aço tracionados.	Plataforma flutuante com casco em forma de navio, usada para perfuração de poços. Pode ser ancorada no solo marítimo ou dotada de sistema de posicionamento dinâmico, que mantém a posição da embarcação de 120 forma automática.
Não.	Não.	Sim (só para a manutenção dos poços)*.	Sim.
Sim.	Sim (geralmente são unidades de perfuração ou de produção).	Sim.	Não.
Fundo do mar.	Fundo do mar.	Superfície.	Fundo do mar.
Sim.	Sim.	Não.	Não.
O óleo é exportado para navios petroleiros, que o descarregam nos terminais.	O óleo é exportado para navios petroleiros, que o descarregam nos terminais.	O óleo é escoado para uma plataforma de produção (FPSO), que realiza o processamento e o exporta através de navios.	Não.
A capacidade de armazenamento permite que opere a grandes distâncias da costa, onde a construção de oleodutos é inviável.	Movimentos menores do que os FPSOs tipo Navio.	Possui sistema de ancoragem rígido e movimentos reduzidos, o que permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	Maior autonomia para perfurar em grandes distâncias da costa.
P-34, P-50, P-54, P-62, Cidade de Angra dos Reis, Cidade de São Vicente, Cidade de Paraty, Cidade de Itajaí, Peregrino.	Plataforma de Piranema.	P-61.	NS-09, NS-15, NS-16, NS-24.

## A - Tipos de Unidades de Produção

- **Plataformas Fixas** (Figura 12): são utilizadas nos campos localizados em lâminas-d'água de até 300 m e projetadas para operações de longa duração. Geralmente as plataformas fixas são constituídas de estruturas modulares de aço, instaladas no local de operação sobre estruturas chamadas jaquetas, as quais são transportadas sobre balsas até a locação e fixadas com estacas cravadas no fundo do mar. As plataformas fixas são projetadas para receber todos os equipamentos de perfuração (desenvolvimento da produção), estocagem de materiais, alojamento de pessoal, bem como todas as instalações necessárias para a produção dos poços. A instalação é mais simples e permite que o controle dos poços seja feito na superfície. Não têm capacidade de estocagem de petróleo ou gás, tendo estes que ser enviados para a terra através de oleodutos ou gasodutos.



**Figura 12** – Plataforma de Mexilhão (PMXL-1) – Campo de Mexilhão – Bacia de Santos.

- **Plataformas Autoelevatórias ou Jack-up rig** (Figura 13): são mais utilizadas para atividade de perfuração, mas também podem ser usadas para produção, sempre em lâminas-d'água rasas (em torno de 100 m). As plataformas autoeleváveis são dotadas de três ou mais pernas com até 150 metros de comprimento. Essas pernas se movimentam verticalmente, acionadas mecânica ou hidraulicamente, através do casco. Uma vez na locação, as pernas descem até o leito do mar e a plataforma é erguida, ficando a uma altura desejada, acima das ondas. Quando as pernas estão suspensas, as *jack-ups* podem flutuar, sendo facilmente transportadas de um local para outro.



A maioria das jack-ups é transportada através de rebocadores ou navios-cegonha *Heavy Lift Vessels* (HLV). Apesar da operação de reboque dessas unidades ser de fácil execução, os navios-cegonha são o melhor transporte quando a plataforma precisa ser movida rapidamente ou em longas distâncias.

**Figura 13** – Plataforma autoelevatória.

Fonte: <http://epocanegocios.globo.com> (Foto: Ichiro Guerra/PR)

- **Plataformas Semissubmersíveis ou Semi-Submersible Platform** (Figura 14): são compostas de uma estrutura de um ou mais conveses, apoiada em flutuadores submersos. As plataformas semissubmersíveis podem ou não ter propulsão própria e não possuem

capacidade de armazenamento. O posicionamento da plataforma flutuante pode ser feito através de um sistema de ancoragem ou de um sistema de posicionamento dinâmico. O sistema de ancoragem é constituído de 8 a 12 âncoras e cabos e/ou correntes, atuando como molas que produzem esforços capazes de restaurar a posição do flutuante quando é modificada pela ação das ondas, ventos e correntes. No sistema de posicionamento dinâmico, não existe ligação física da plataforma com o fundo do mar, exceto através dos equipamentos de perfuração ou produção. No posicionamento dinâmico, sensores acústicos determinam a deriva e propulsores no casco acionados por computador restauram a posição da plataforma.



**Figura 14** – Plataforma P-61 (TLWP) conectada à plataforma de apoio *Tender Assisted Drilling* (TAD) – Campo de Papa-Terra – Bacia de Campos.

- **Sistemas flutuantes de produção Floating Production Systems (FPS):** são navios, em geral de grande porte, com capacidade para produzir e processar petróleo e gás natural, podendo também armazenar a produção de petróleo, estando ancorados em uma locação definida. Em seus conveses, são instaladas plantas de processo para separar e tratar os fluidos produzidos pelos poços. Depois de separado da água e do gás, o petróleo produzido pode ser armazenado nos tanques do próprio navio e/ou transferido para terra através de navios aliviadores ou oleodutos. O gás comprimido é enviado para terra através de gasodutos e/ou reinjetado no reservatório.

Os principais tipos de sistemas flutuantes de produção e/ou armazenamento e transferência são:

1. *Floating Production and Offloading* (FPO) – são unidades flutuantes de produção e transferência.

2. *Floating Production, Storage and Offloading* (FPSO) – são unidades flutuantes de produção, armazenamento e transferência (Figura 15).



3. *Floating, Storage and Offloading* (FSO) – são unidades flutuantes que apenas armazenam e promovem a transferência para navios aliviadores ou dutos.

4. *Floating Storage Unity* (FSU) – são unidades flutuantes de armazenamento.

**Figura 15** – FPSO Cidade de Caraguatatuba.

- **FPSO Monocoluna** (Figura 16): tem as mesmas características de um FPSO, mas seu casco possui formato cilíndrico, o que lhe confere maior estabilidade. O FPSO Sevan Piranema, que opera no campo de Piranema, na Bacia de Sergipe-Alagoas, foi a primeira plataforma desse tipo no mundo, e possui capacidade para armazenamento, e o óleo é exportado para navios petroleiros, que o descarregam nos terminais.



**Figura 16** - FPSO Piranema - Campo de Piranema - Bacia de Sergipe-Alagoas.

- **Plataforma SPAR** (Figura 17): tipo de plataforma de perfuração ou de produção utilizada em águas ultraprofundas. Sua estrutura é composta, essencialmente, de um único cilindro vertical de grande diâmetro que suporta uma plataforma, através de tanques de flutuação localizados na parte superior da estrutura. A ele é fixado um típico *topside* de plataforma de superfície, contendo equipamentos de perfuração e planta de produção/utilidades.



A plataforma SPAR é mantida na locação por meio de sistema de ancoragem do tipo *taut-leg*. Esse tipo de unidade possui amplitude de movimentos bastante reduzida, o que permite a utilização de poços de completação seca com *risers* tensionados, para diversos poços operarem em grandes lâminas-d'água com *risers* rígidos (*steel catenary unit*). As plataformas SPAR, até o momento, não são utilizadas no Brasil.

**Figura 17** - Unidade estacionária de Produção do tipo SPAR.

### **B - Tipos de atividades de produção: Testes de Longa Duração (TLD), Sistemas de Produção Antecipada (SPA) e Desenvolvimento da Produção (DP).**

O Teste de Longa Duração (TLD) é realizado para estimar o potencial de produção e obter dados dinâmicos do fluxo dos fluidos nos reservatórios, ainda na fase de avaliação exploratória, permitindo a mitigação das maiores incertezas do projeto, com a antecipação da produção de óleo. O Sistema de Produção Antecipada (SPA) apresenta as mesmas características do TLD, mas com denominação diferenciada em virtude de ocorrer após a declaração de comercialidade do bloco, conforme determinado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), portanto, dentro da fase de produção. Os dados obtidos são utilizados no planejamento dos Sistemas de Desenvolvimento da Produção.

A duração estimada desses projetos é em torno de quatro meses a 1 ano. Devido ao caráter temporário dessas atividades, a plataforma responsável por um TLD ou SPA pode participar de vários testes, podendo ser em locações diferentes, em um curto intervalo de tempo.

O desenvolvimento da produção (DP), com duração aproximada de 20 anos, envolve a implantação de um sistema mais complexo, incluindo um arranjo de poços produtores e injetores, que são interligados à unidade de produção através de dutos, *risers* flexíveis e

umbilicais eletro-hidráulicos, a partir da Árvore de Natal Molhada (ANM)<sup>7</sup>, como o exemplo ilustrado de um FPSO na Figura 18. O número de estruturas submarinas é intrínseco às características da produção de cada empreendimento.

As linhas flexíveis de produção são responsáveis pelo escoamento da produção de óleo e gás do reservatório, interligando os poços produtores à unidade. Cada poço produtor possui três linhas que se conectam à unidade: uma linha de produção, uma linha de serviço (acesso ao espaço anular do poço<sup>8</sup>) e um umbilical eletro-hidráulico de controle (para comunicação entre o poço e a unidade e injeção química). Cada poço injetor possui duas linhas que se conectam à unidade: uma linha de injeção (responsável pela injeção de água no reservatório) e um umbilical eletro-hidráulico de controle.



**Figura 18** – Representação esquemática da interligação das linhas de um FPSO aos poços. Fonte: EIA/Rima Etapa 2

### C - Fases da atividade de produção

A etapa de produção é composta por três fases: instalação, produção e desativação. Essas operações são realizadas por embarcações de apoio, com características específicas para cada atividade.

A fase de instalação envolve o reboque da Unidade de Produção, ancoragem, lançamento e conexão das linhas de produção e dos dutos de escoamento, e lançamento e instalação dos equipamentos submarinos. Para a operação de ancoragem de uma única unidade marítima, como, por exemplo, um FPSO, podem estar envolvidas em torno de 12 embarcações, durante um período médio de dois meses, não necessariamente de modo simultâneo, realizando algumas das operações de conexões e suporte visual da operação com auxílio de ROV.

A fase de produção engloba a recuperação e processamento de hidrocarbonetos, podendo durar várias décadas na mesma locação. Durante essa fase, a Unidade de Produção é assistida por diversas embarcações de apoio, responsáveis pelo transporte de equipamentos, suprimentos (abastecimento de água potável, alimentos e diesel) e resíduos. Além disso, durante essa fase, também são realizadas operações de manutenção e inspeção da plataforma e do sistema submarino, e intervenções nos poços, nesta última, pode ser necessário também a utilização de sondas.

O óleo produzido em um campo pode ser escoado por dutos submarinos e por navios aliviadores (*offloading*). Em alguns projetos de produção tem-se a possibilidade de uma parcela do gás associado produzido ser consumido como combustível e o excedente ser escoado por gasoduto flexível ou rígido. Assim, a previsão da periodicidade da operação de *offloading* irá depender das características e do potencial de produção e armazenagem de cada projeto de produção. A operação de alívio e a frota marítima utilizada para essas operações serão detalhadas adiante.

A fase de desativação de uma unidade marítima de produção envolve uma série de fatores técnicos, ambientais, de segurança e econômicos, que são analisados caso a caso por envolverem interesses diversos da região onde a unidade está localizada. Independentemente

7- Equipamento do sistema submarino de produção constituído por um sistema de controle interligado ao painel localizado na plataforma de produção. Através da ANM o Operador de Produção na plataforma controla a produção do poço, podendo abrir ou fechar válvulas e obter registros de parâmetros da produção, como pressão e temperatura.

8- Espaço existente entre a coluna de perfuração e as paredes do poço.

do tipo de unidade, os estudos de desativação incluem alternativas de remoção ou abandono, total ou parcial, das instalações existentes, tanto de superfície como submarinas, de acordo com o determinado pela Portaria ANP 27/2006.

### **D – Tipos de embarcações de apoio**

A seguir é apresentada uma descrição sucinta dos tipos de embarcação utilizados durante as diversas fases da produção:

- *Anchor Handling Tug Supply (AHTS)*: embarcação com características para manuseio de âncoras, reboque e suprimentos utilizados nas operações de desancoragem, mobilização e ancoragem (DMA) e outros (Figura 19). Pode ser utilizada no lançamento de estacas torpedo, *hook-up* de linhas de ancoragem e tensionamento final de amarras e são equipadas com sistema de posicionamento dinâmico. Outros equipamentos auxiliares podem estar instalados nessas embarcações para auxiliar nas operações de inspeção submarina, como o *Remotely Operated Vehicle (ROV)*;

- *Pipe Laying Support Vessel (PLSV)*: são utilizadas na instalação das linhas submarinas e dutos de exportação (Figura 20). Equipadas com sistema de posicionamento dinâmico, além de sistemas de tensionadores lineares especialmente projetados para suportar as cargas induzidas durante o lançamento dos dutos. Outros equipamentos auxiliares são instalados nessas embarcações para ajudar nas manobras de convés (guindastes e guinchos), inspeção submarina (ROV);

- *Subsea Equipment Support Vessel (SESV)*, *Heavy Lift Vessel (HLV)* e *Diver Support Vessel (DSV)*: embarcações especializadas na instalação de equipamentos submarinos (por exemplo, árvores de natal molhada) e utilizam um sistema de guincho para movimentar os equipamentos do convés para o leito marinho e, vice-versa (Figura 21). Essas embarcações também são dotadas de ROV e possuem sistema de posicionamento dinâmico;

- *Diver Support Vessel (DSV)*: embarcações utilizadas para operações de mergulho profundo, em lâminas-d'água que variam de 50 e 350 metros, são equipadas com sala de controle de mergulho, sala de controle de saturação, sinos para mergulhadores, ROV e sistema de posicionamento dinâmico (Figura 22);

- *Shallow Diver Support Vessel (SDSV)*: embarcações utilizadas em operações de mergulho raso, em lâminas-d'água de até 50m. Essas embarcações possuem sistema de propulsão a hidrojato e sala de controle para o mergulho;

- *ROV Support Vessel (RSV)*: embarcações utilizadas para mapeamento, inspeções e intervenções submarinas através de ROVs, também possuem sistema de posicionamento dinâmico (Figura 23);

- *Platform Supply Vessel (PSV)*: embarcações utilizadas para transporte de cargas em geral;

- *Fire Fighters (FiFi)*: embarcações dotadas de canhões de água utilizadas no combate a incêndio de navios e plataformas, além de socorro médico;

- *Oil Spill Recovery Vessel (OSRV)*: embarcações utilizadas em situações de derramamento de óleo no mar, com equipamentos capazes de recolher o óleo derramado e armazená-lo num tanque de bordo. Cada empreendimento ou grupo de empreendimentos operando no mar possuem um grupo de OSRVs de prontidão para atendimento ao Plano de Emergência para vazamento de óleo. Algumas embarcações *Oil Recovery* também possuem sistema de combate a incêndio;

Além dessas operações de apoio direto à realização das atividades de E&P, existem ainda embarcações que executam projetos de monitoramento ambiental marinho, as quais realizam campanhas oceanográficas e, regularmente, retornam para terminais de apoio para embarque e desembarque de equipamentos, amostras, vidrarias e pessoal.



Figura 19 – Embarcações do tipo AHTS.



Figura 20 – Embarcações PLSV.



Figura 21 – Embarcação do tipo SESV



Figura 22 – Embarcação do tipo DSV



Figura 23 – Embarcação do tipo RSV

### • Operação: embarcações envolvidas nas atividades

Na Figura 24 pode ser observada a área utilizada por embarcações de apoio e navios aliviadores que atendem às necessidades logísticas envolvidas nas atividades de instalação e operação das unidades de perfuração e produção operando na Baía de Santos. As rotas foram traçadas com base no histórico do monitoramento de embarcações no intervalo de um ano (2015) e foi mensurada a densidade de navegação por unidade de área utilizada. No que tange à utilização dos portos nesse mesmo ano, foram registradas atracções de embarcações de apoio no Porto de Paranaguá e Antonina/PR, e atracções para alívio nos portos de São Francisco do Sul (SC), Tramandaí (RS), Suape (PE), Vitória (ES) e na base internacional de Aruba.

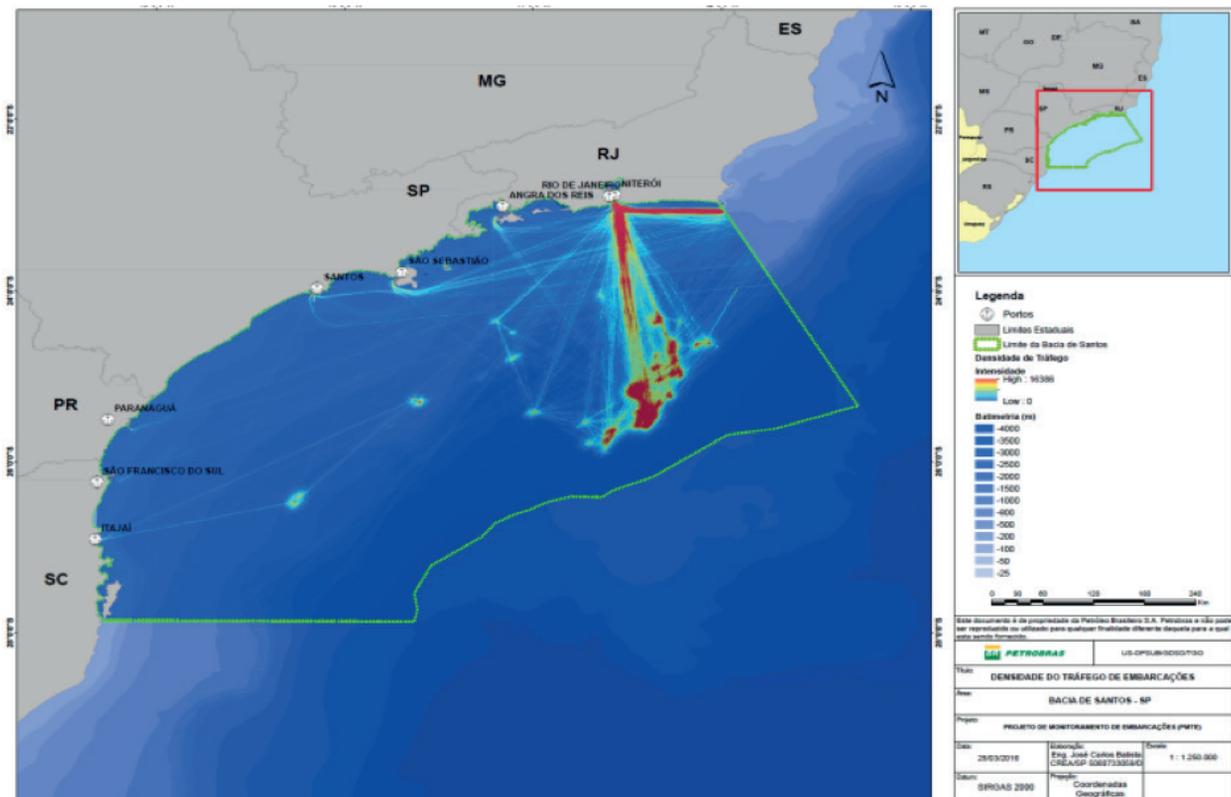


Figura 24 – Densidade do tráfego de embarcações na Baía de Santos a serviço de uma operadora de O&G no ano de 2015.

### 4.4 Atividade de Escoamento da Produção e Transporte de Derivados

Após a etapa da recuperação do óleo e pré-processamento nas plataformas de produção, o óleo e gás coletado devem ser escoados para seu posterior refino ou exportação.

O óleo produzido em um campo pode ser escoado por dutos submarinos ou por navios aliviadores (*offloading*). Em alguns projetos de produção tem-se a possibilidade de uma parcela do gás associado produzido ser consumido como combustível e o excedente ser escoado por gasoduto flexível ou rígido. Assim, a previsão da periodicidade da operação de *offloading* depende das características, e do potencial de produção e armazenagem de cada projeto de produção.

O escoamento da produção e a movimentação de derivados demandam intensa atividade de transporte marítimo.

O item a seguir apresenta uma breve descrição da infraestrutura logística utilizada para essas operações.

#### 4.5 Descrição da Infraestrutura de Apoio às atividades de E&P

As atividades *offshore* de E&P de petróleo e gás são assistidas por um complexo sistema logístico marítimo, moldado conforme as necessidades dinâmicas e descentralizadas das empresas que atuam direta ou indiretamente. Para facilitar a compreensão, essa estrutura pode ser dividida em duas categorias, as quais serão detalhadas em seguida:

- a) Infraestrutura para construção e docagem de unidades marítimas; e
- b) Infraestrutura logística para o suprimento de recursos às unidades de E&P.

##### 4.5.1 Infraestrutura para construção, montagem/integração e docagem de unidades marítimas

No Brasil, a maior parte das operadoras de óleo e gás não dispõem de diques ou estaleiros próprios. Essa infraestrutura é contratada em função da demanda, que consiste na construção e docagem de estruturas como plataformas, embarcações e boias.

Para a construção de plataformas, demanda-se estaleiro de grande porte apenas para a construção do casco. O restante da parte emersa (módulos) pode ser construído em outros estaleiros ou canteiros à beira-mar ou beira-rio para posterior montagem/integração, sendo que os módulos também não precisam ser construídos necessariamente no mesmo local. A Figura 25 apresenta o transporte de dois módulos da P-58, construídos no Rio de Janeiro e sendo transportados para o Rio Grande do Sul.

Assim, a construção de sondas e Unidades Estacionárias de Produção (UEPs) é muito dinâmica, podendo envolver, para cada unidade, diversos estaleiros, a depender da agenda de trabalho disponível para cada um deles.



**Figura 25** - Exemplo de dois módulos da Plataforma P-58, construídos no canteiro da UTC em Niterói (RJ), sendo transportados por balsa para um estaleiro no Rio Grande do Sul (agosto/2012).

Conforme mencionado anteriormente, a Autoridade Marítima Brasileira e as Sociedades Classificadoras, em conformidade com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida no Mar (em inglês, "*Safety of Life at Sea Convention*" – SOLAS 1974/1988) da IMO, requerem que as embarcações mercantes com arqueação bruta > 500, realizem ao menos duas inspeções na parte externa do fundo do casco em um período de cinco anos. A primeira vistoria chama-se Intermediária, e trata-se de uma inspeção subaquática com auxílio, na maioria dos casos, de mergulhadores, e a segunda, de Renovação, ocorre em dique seco com raspagem do casco e posterior pintura com tinta anticorrosiva e anti-incrustante.

No caso de plataformas de perfuração e produção, que foram projetadas para operar por longos períodos sem efetuar docagem a seco, as Autoridades permitem que ambas as vistorias, Intermediária e de Renovação, sejam subaquáticas e realizadas na locação por meio de mergulhadores e/ou ROV, de acordo com o preconizado no Código para a Construção e Equipamentos de Unidades de Perfuração Móveis *Offshore* da IMO (em inglês, *Code for the construction and equipment of Mobile Offshore Drilling Units - MODU-89/MODU-2009*).

Para as inspeções de Renovação, é necessário que seja feita reserva das instalações com

dique seco com bastante antecedência, caso contrário, há risco de que haja elevado tempo de espera.

No caso de sondas de perfuração ou unidades marítimas de produção, existem poucas instalações com capacidade adequada para docagem a seco no Brasil, em função das dimensões das unidades semi semissubmersíveis ou dos *Floating Production Storage and Offloading* (FPSOs).

Segue lista de **estaleiros de grande porte** com dique seco existentes no Brasil, os quais vêm sendo usados para a construção de sondas e UEPs e/ou módulos:

#### a) Estaleiro do Rio Grande (ERG 1 e 2)

**Propriedade:** Engevix

**Localização:** Cidade do Rio Grande (RS)

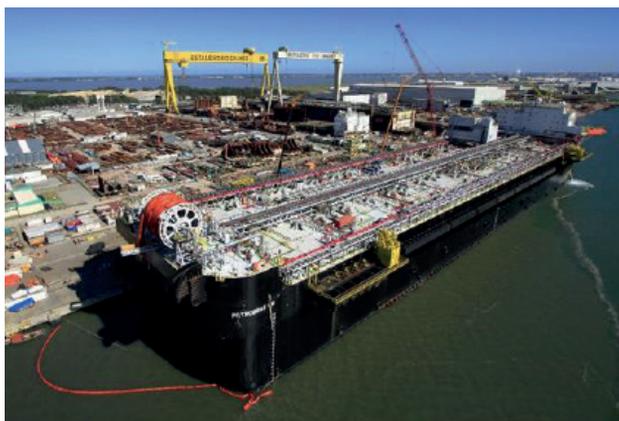
**Características:** O ERG 1 possui o maior dique seco da América Latina, com capacidade de edificação de dois cascos simultaneamente. Além disso, o dique seco é equipado por dois pórticos com capacidades de 600 t e 2000 t (considerado o maior pórtico do mundo). A capacidade de processamento mensal é de 11.000 t/mês. O Estaleiro Rio Grande conta com uma das mais avançadas linhas de fabricação e montagem de blocos. O ERG 2 está equipado com três linhas de produção, sendo uma para jateamento e corte de perfis e outras duas para montagem de blocos. Na produção destaca-se pela utilização de máquinas robóticas para corte de chapas. O ERG 2 possui, também, 8 cabines de pintura para hidro-jateamento de blocos e uma especificamente para megablocos (Figuras 26, 27, 28 e 29)

**Dimensões do dique seco:** L = 350 m de comprimento; D = 133 m de largura; e P = 13,8 m de profundidade.

(Fonte: <http://www.ecovix.com> e <http://www.wtorre.com.br/projetos/estaleiro-rio-grande/246>)



**Figura 26** – Plataforma P-55 em construção no Estaleiro do Rio Grande (setembro/2012).



**Figura 27** – Casco da P-66 atracado no cais sul do ERG 1 (dezembro/2014)



**Figura 29** – Plataformas replicantes (P-66, P-67 e P-68) no Estaleiro Rio Grande (dezembro/2014)



**Figura 29** – Saída da Plataforma P-66 do dique do Estaleiro do Rio Grande (2014).

Fonte: <http://www.wtorre.com.br/projetos/estaleiro-rio-grande/246>

### **b) Estaleiro BrasFELS**

**Propriedade:** Grupo Keppel Offshore

**Localização:** Jacuecanga, Angra dos Reis (RJ)

**Características:** Ocupa uma área de 490.000 m<sup>2</sup> e é um importante participante da indústria naval brasileira, tendo atuado em diversas obras de construção e reparo de plataformas para a Petrobras e seus fornecedores. É adequado para reparos *offshore* e construções de grande porte e tem capacidade de processar 50 mil t de aço por ano e de construir navios de até 300 mil Toneladas de Porte Bruto - TPB (Figura 30).

**Dimensões do dique seco:** L = 125 m de comprimento; D = 70 m de largura; e P = 13 m de profundidade.

(Fonte: <http://sinaval.org.br/wp-content/uploads/Catalogo-Sinaval-2007.pdf>).



**Figura 30** – Vista do Estaleiro BrasFELS.

(Fonte: <http://sinaval.org.br/wp-content/uploads/Catalogo-Sinaval-2007.pdf>)

### c) Estaleiro Mauá

**Propriedade:** Grupo Synergy

**Localização:** Niterói (RJ)

**Características:** Instalado na Ponta D'Areia, em Niterói, estado do Rio de Janeiro, o Mauá é o único estaleiro de grande porte na Baía de Guanabara e está estrategicamente localizado antes da Ponte Rio-Niterói, o que facilita a atracação de embarcações que possuam restrições de altura ou manobra (Figura 31).

**Dimensões do dique seco:** L = 167 m de comprimento; D = 22,5 m de largura; e P = 9,35 m de profundidade.



Figura 31 – Vista do Estaleiro Mauá (agosto/2012).

### d) Estaleiro Atlântico Sul (EAS)

**Propriedade:** Estaleiro Atlântico Sul (Camargo Corrêa e Queiroz Galvão)

**Localização:** Complexo Industrial Portuário Gov. Eraldo Gueiros – Suape, Ipojuca (PE)

**Características:** O Estaleiro Atlântico Sul conta com capacidade de processamento de 160 mil toneladas de aço/ano, 1 milhão e 620 mil m<sup>2</sup> de terreno, área industrial coberta de 130 mil m<sup>2</sup> e um dique seco, o qual é servido por dois pórticos Goliaths de 1.500 t/cada, dois guindastes de 50 t/cada e dois de 35 t/cada. Possui também um cais de acabamento com 730 m de extensão, equipado com dois guindastes de 35 t. Outros 680 m de cais são utilizados para a construção de plataformas *offshore* (Figura 32).



**Dimensões do dique seco:** L = 400 m de comprimento; D = 73 m de largura; e P = 12 m de profundidade.

Figura 32 – Plataforma P-62 em construção no Estaleiro Atlântico Sul (agosto/2012).

### e) Enseada Indústria Naval

**Propriedade:** Enseada Indústria Naval S.A. (Odebrecht Participações e Investimentos S.A., OAS Investimentos S.A., UTC Participações S.A. e Kawasaki Heavy Industries Ltd.)

**Localização:** Maragogipe (BA)

**Características:** O estaleiro da Enseada possui um parque industrial que ocupa uma área de 1,6 milhão de metros quadrados, com capacidade de processamento de aço de 72.000 toneladas/ano. Com localização estratégica para o desenvolvimento de projetos industriais de alta complexidade, a Enseada oferece uma estrutura que une a alta tecnologia do *know-how* Kawasaki, gestão focada em resultados e produtividade para estar entre os polos industriais multipropósito mais competitivos em nível global. Atualmente, a implantação do estaleiro encontra-se com 84% de avanço físico e entrou em fase de operação em 2014, dispondo de autorização da Antaq para operar o Terminal de Uso Privado (TUP) voltado ao recebimento de cargas gerais no Cais 01, com 243 metros, calado de operação de 13 metros e equipado com um Guindaste de 40 toneladas para descarregamento de chapas e outros insumos. Os Cais 02 e 03 possuem 150 e 330 metros de comprimento, respectivamente, e mesmo calado do Cais 01, sendo esses voltados para integração de módulos, acabamento e manutenção e reparo de embarcações. Dispõe ainda de um superguindaste Goliath com capacidade de

içamento de 1.800 toneladas. Possui contrato com a Sete Brasil para a construção de seis sondas de perfuração, mas em virtude da suspensão dos pagamentos por parte do cliente, a fabricação das encomendas foi interrompida em novembro de 2014, sendo duas interrompidas em estágio avançado e quatro em fases diferenciadas.



Figura 33 – Vista do Estaleiro Enseada Indústria Naval.

**Dimensões do dique seco:** Quando finalizado terá as seguintes dimensões: L = 261 m de comprimento; D = 85 m de largura; e P = 15 m de profundidade.

#### f) Estaleiro Inhaúma

**Propriedade:** Petrobras arrendou da Companhia Brasileira de Diques – CBD, em 2010, por 20 anos.

**Localização:** Caju, Rio de Janeiro (RJ)

**Características:** O Estaleiro Inhaúma ocupa uma área total de 320.000 m<sup>2</sup> no bairro do Caju, às margens da Baía de Guanabara. Fez parte da demanda desse estaleiro converter cascos navios VLCC. Há dois diques, sendo que apenas um está operacional. Há restrições para altura de equipamentos para passagem sob a ponte (Figura 34) e quanto à distribuição dos picadeiros no fundo.



**Dimensões do dique seco:** Dique nº 2: L = 357X65X10m.

Figura 34 – Vista do Estaleiro Inhaúma (agosto/2012). No dique seco pode ser observada a Plataforma P-74.

Há outros estaleiros no Brasil onde é possível construir embarcações de menor porte (embarcações de apoio às atividades *offshore*), realizar reparos, integração de plataformas e construção de módulos. Seguem alguns exemplos:

- Estaleiro Jurong (Aracruz, ES)
- Estaleiro MacLaren (Niterói, RJ)
- Estaleiro Bravante – Navegação São Miguel (São Gonçalo, RJ)
- Estaleiro Vard Promar (Niterói, RJ e Recife, PE)
- Estaleiro Aliança (Rio de Janeiro)
- Estaleiro Cassinú (São Gonçalo, RJ)
- Techint Unidade Offshore (Pontal do Paraná, PR)
- Canteiro São Roque do Paraguaçu (BA)
- Estaleiro Brasa (Niterói, RJ)
- Estaleiro Honório Bicalho (Rio Grande, RS)
- Estaleiros do Brasil – EBR (São José do Norte, RS)
- Renave (RJ)
- EISA (RJ)
- Navship (SC)
- Wilson, Sons (SP)

- UTC (RJ)
- STX OSV (RJ)

Na maioria das vezes, os operadores de O&G não têm ingerência sobre o local de construção e docagem de unidades marítimas contratadas. A determinação da infraestrutura utilizada para as construções, nesses casos, é de responsabilidade das empresas contratadas e seguem o previsto nas regulamentações que devem ser atendidas para manter suas classificações.

Unidades de E&P provenientes do exterior, novas ou em uso, podem ser trazidas para o Brasil rebocadas, o que, normalmente, implica em um deslocamento mais demorado, ou emersas sobre um navio-cegonha *Heavy Lift Vessel* (HLV). São poucos HLVs que têm capacidade para transportar plataformas de E&P (cerca de 20 unidades no mundo). Até o momento, os içamentos das unidades sobre HLVs somente podem ser feitos sob condições de águas abrigadas.

#### **4.5.2 Infraestrutura logística para o suprimento de recursos às unidades de E&P (*supply vessels*)**

A infraestrutura logística para o suprimento de recursos às unidades de E&P dá suporte ao embarque de materiais, equipamentos e insumos (água, alimentos, produtos químicos e combustíveis), bem como ao desembarque de pessoas, de resíduos e outros materiais fora de uso. Também enquadram-se nessa categoria embarcações de instalação, como as lançadoras de dutos *Pipelay Supply Vessels* (PLSV), ancoragem *Anchor Handling Supply Vessel* (AHTS), *ROV Supply Vessel* (RSV) e também embarcações de emergência, como embarcações do tipo *Oil recovery*.

Diversos portos são utilizados pelas embarcações de apoio que atuam nos empreendimentos de E&P. Abaixo são listados os principais portos utilizados e exemplos de atividades realizadas em cada um deles:

- **Terminal Marítimo Ignácio Barbosa (Tmib)** – Terminal portuário localizado no município de Aracaju-SE, realizando as atividades de apoio *offshore* para a Bacia de Sergipe e Alagoas, através do embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais.
- **Base de carregamento de dutos de Vitória (Bavit)** – Área portuária contratada, localizada em Vitória-ES, destinada ao embarque e desembarque de dutos flexíveis e umbilicais transportados por embarcações do tipo PLSVs, balsas ou navios.
- **Companhia Portuária Vila Velha (CPVV)** – Localizada em Vila Velha, Espírito Santo. Atende às operações de O&G oferecendo suporte em atividades de embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais.
- **Porto do Açú** – Terminal portuário localizado no município de São João da Barra-RJ, realizando as atividades de apoio *offshore* para as Bacias de Campos e Espírito Santo, com embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais.
- **Porto de Macaé** – Terminal Particular da Petrobras, localizado no município de Macaé-RJ, realizando as atividades de apoio *offshore* para a Bacia de Campos, através do embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais.
- **Base de carregamento de dutos de Niterói (Banit)** – Área portuária contratada, localizada na Ilha da Conceição em Niterói-RJ, destinada ao embarque e desembarque de dutos flexíveis e umbilicais transportados por embarcações do tipo PLSVs, balsas ou navios.
- **Brasco Logística Offshore (Niterói - RJ)** – Terminal privado utilizado como base de apoio à indústria de óleo e gás *offshore*.
- **Nitshore (Niterói - RJ)** – Responsável pela gestão do Terminal 2 do Porto de Niterói,

oferece serviços de logística de ponta-a-ponta, com atividades de movimentação de cargas, alfandegamento para importação e exportação, armazenagens, tancagens de fluidos, abastecimento de água e combustíveis, gerenciamento de resíduos e reparos navais.

- **Porto do Rio de Janeiro** – Porto público que atua em modelo de arrendamento, localizado no município do Rio de Janeiro-RJ, realizando as atividades de apoio *offshore* para a Baía de Santos, através do embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais. Também possui área de suporte a operações de ancoragem;

- **Porto do Forno** – Localizado em Arraial do Cabo, Rio de Janeiro. Possui estrutura para armazenamento de *risers* de perfuração, operações de transbordo, abastecimento e suprimentos em geral.

- **Terminal Portuário de Angra dos Reis (TPAR)** – Terminal utilizado para embarque e desembarque de dutos e suprimentos.

- **Porto de Itajaí (SC)** – Terminal portuário localizado em Itajaí-SC, realiza atividades de apoio *offshore* para a Baía de Santos, através do embarque e desembarque de equipamentos, cargas, resíduos e outros materiais.

- **Porto de Niterói (RS)** – Porto utilizado para apoio na instalação de sistemas submarinos, utilizado para embarque e desembarque de força de trabalho e suprimentos.

A utilização dos portos é muito dinâmica e varia de acordo com a empresa responsável pelo afretamento da embarcação.

Além do suprimento de recursos para as Unidades Marítimas, deve-se considerar a infraestrutura para atendimento das necessidades das embarcações de apoio utilizadas nas atividades de E&P.

As embarcações de apoio podem operar tanto ao longo da costa, sem uma área geográfica definida (como é o caso das embarcações que trabalham com mapeamentos submarinos, instalação e manutenção de equipamentos, monitoramento ambiental etc.), como também em regiões específicas (caso das embarcações de atendimento a emergências e suprimento).

A depender da atividade que essas embarcações de apoio desempenham, as operadoras podem designar portos para o carregamento de recursos específicos da operação, no entanto, visto que as unidades de apoio são majoritariamente contratadas ou subcontratadas, fica a critério das mesmas determinar portos para o embarque/desembarque da sua força de trabalho e carregamento ou descarregamento de seus próprios insumos. Logo, para embarcações de apoio contratadas, é muito difícil estabelecer mapeamento da infraestrutura em uso, uma vez que as atividades se distribuem ao longo de toda a costa brasileira e a gestão logística é de competência da contratada.

## **5. Infraestrutura Logística para Movimentação de Petróleo e Derivados**

A logística de movimentação de petróleo e derivados pode ser dividida em alguns tipos de operações:

- Operação de alívio de plataforma – operação realizada para retirar a produção de petróleo das plataformas onde não há escoamento por duto;

- Importação de petróleo – produto é comprado em outros locais de produção de acordo com as características e necessidades de refino;

- Exportação de petróleo – exportação do excedente de produção do petróleo nacional para outros mercados;

- Importação de derivados – produto comprado em outros locais para atender a demanda brasileira;

- Exportação de derivados – exportação do excedente da relação produção – demanda no mercado brasileiro;

Atualmente, apenas uma das operadoras atuantes no Brasil utiliza uma frota de navios

afretados superior a 190 navios. Também são utilizados terminais aquaviários onde ocorrem as cargas e descargas dos produtos.

Os contratos realizados com embarcações para o transporte de óleo e derivados podem ser realizados por viagem *Voyage Charter Party* (VCP) ou por tempo determinado *Time Charter Party* (TCP). No contrato por viagem, o fretador se obriga a colocar o todo ou parte de uma embarcação, com tripulação, à disposição do afretador para efetuar transporte em uma ou mais viagens. Nesse caso, o afretador não tem controle operacional sobre o navio. Na contratação de afretamento por tempo, o afretador recebe a embarcação armada e tripulada para operá-la por tempo determinado.

Essas embarcações devem atender a um conjunto de regulamentos nacionais e internacionais voltados para a segurança das instalações, de pessoas e para a proteção ambiental. Esses regulamentos preveem uma série de inspeções para que a embarcação continue operando com segurança e dentro dos requisitos legais em águas jurisdicionais brasileiras.

Conforme citado anteriormente, a Autoridade Marítima Brasileira e as Sociedades Classificadoras, em conformidade com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida no Mar (em inglês, *"Safety of Life at Sea Convention"* – SOLAS 1974/1988) da Organização Marítima Internacional (em inglês, *"International Maritime Organization"* – IMO), requerem que as embarcações mercantes realizem ao menos duas inspeções na parte externa do fundo do casco em um período de cinco anos, sendo que a segunda ocorre em dique seco com limpeza do casco e posterior pintura com tinta anticorrosiva e anti-incrustante.

No Brasil as determinações da Solas são refletidas na Normam-01/DPC – (2005) Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto.

Adicionalmente, as embarcações de bandeira estrangeira operando em águas brasileiras devem atender aos requisitos internacionais da sua bandeira e às determinações das Normas da Autoridade Marítima para Operação de Embarcações Estrangeiras em Águas sob Jurisdição Nacional (Normam-04/DPC).

A lista abaixo apresenta a descrição sucinta de 28 terminais aquaviários, que estão sob responsabilidade da Petrobras e operados pela Transpetro:

- **Terminal Aquaviário de Coari - AM**

Fundamental no escoamento de petróleo e gás produzidos pela Petrobras na região de Urucu. Recebe o petróleo e o Gás Liquefeito de Petróleo de produção da Petrobras, pelo Oleoduto Rio Solimões (Orsol I), armazena e entrega a navios para o abastecimento de petróleo da Refinaria de Manaus (Reman) e suprimento do mercado de GLP no Pará, Rondônia, Maranhão e parte do Ceará e de Pernambuco.

- **Terminal Aquaviário de Manaus - AM**

É a porta de entrada e de saída dos produtos movimentados e produzidos pela Petrobras na Refinaria de Manaus (Reman). Recebe em seus portos navios e barcas com petróleo, Gás Liquefeito de Petróleo e derivados claros e escuros para a Reman e para as companhias distribuidoras. Movimenta, ainda, monômero de estireno para a empresa Videolar.

- **Terminal Aquaviário de Macapá - AP**

Recebe diesel para abastecer o estado. O transbordo é feito de navio com diesel para tanques flutuantes e destes para as barcas aliviadoras das companhias distribuidoras que atendem ao consumo de diesel na região de influência da capital do Amapá.

- **Terminal Aquaviário de Belém - PA**

Abastece os estados do Pará e do Amapá. Além de utilizar seus próprios tanques, compartilha serviços de movimentação e armazenagem com os tanques da Petrobras Distribuidora. O Porto de Miramar e os dutos de transferência são de propriedade da Companhia Docas do Pará (CDP). Transporta produtos escuros no Terminal de Vila do Conde

e efetua transbordo no Terminal de Outeiro.

• **Terminal Aquaviário de São Luís - MA**

Recebe e armazena derivados de petróleo e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), e transfere os derivados para as distribuidoras instaladas no Porto do Itaqui. Fornece *bunker* a navios no porto. O transporte de derivados nacionais faz com que o Terminal atue como entreposto de exportação e de cabotagem para terminais de menor porte.

• **Terminal Aquaviário de Pecém - CE**

Terminal flexível de regaseificação de Gás Natural Liquefeito (GNL) no Brasil, tem capacidade de transferir até 7 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás natural para o Gasoduto Guamaré-Pecém (Gasfor). Atende principalmente as termelétricas de Ceará e Fortaleza.

• **Terminal Aquaviário de Mucuripe - CE**

Porta de entrada e de saída dos produtos da Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (Lubnor). Movimenta em seu píer navios com petróleo, lubrificantes, Gás Liquefeito de petróleo (GLP), diesel, gasolina, QAV1, MF (*Marine Fuel*) e MGO para a Lubnor e para as empresas distribuidoras a fim de atender ao mercado local. Abastece embarcações com *bunker* no cais comercial do Porto de Mucuripe (Fortaleza).

• **Terminal Aquaviário de Guamaré - RN**

Situa-se no litoral norte do Rio Grande do Norte e opera com carga e descarga de petróleo e derivados utilizando o sistema de quadro de boias.

• **Terminal Aquaviário de Cabedelo - PB**

Escoa derivados de petróleo (diesel, gasolina e *Marine Gas Oil* (MGO)), recebidos por navios, e álcool, por caminhões-tanque, para suprir as demandas energéticas do próprio estado e das áreas de abrangência.

• **Terminal Aquaviário de Suape - PE**

O Terminal de Suape tem como responsabilidade a operação de carga e descarga de navios-tanque, transferência de derivados de petróleo para companhias distribuidoras, transbordo entre navios-tanque e abastecimento de navios.

• **Terminal Aquaviário de Maceió - AL**

Utiliza a estrutura de píer do Porto de Maceió. Opera carregamento de petróleo e descarga de diesel e de gasolina. A movimentação dos produtos visa atender o estado de Alagoas e as refinarias da Petrobras.

• **Terminal Aquaviário de Aracaju - SE**

É responsável pelo armazenamento e pelo embarque do petróleo produzido em Sergipe, dos campos de Carmópolis, Siriri e Riachuelo, e da Plataforma Continental de Sergipe, e pela descarga de petroleiros e armazenamento eventual de óleo proveniente da produção de outros estados brasileiros para posterior embarque em petroleiros de maior porte.

• **Terminal Aquaviário Madre de Deus - BA**

Localizado no Porto de Madre de Deus, na ilha de mesmo nome, na Baía de Todos-os-Santos, este Terminal opera com cinco píeres para importação, exportação e cabotagem de derivados, petróleo, propano e GLP e para abastecimento de navios de *bunker*. Ponto de entrada de óleos originários da Bacia de Campos, Pré-Sal e do Nordeste, suprimindo mais de 85% da necessidade de óleo da Refinaria Landulfo Alves – Mataripe (RLAM). É responsável pelo escoamento da produção da RLAM e pela entrada e saída de derivados através de navios. Também é responsável pelo abastecimento dos navios atracados no Porto de Madre de Deus ou nos portos de Aratu e Salvador, fornece qualquer tipo de *Marine Fuel Oil* (MF) e *Marine Gas Oil* (MGO).

• **Terminal de Regaseificação da Bahia - BA**

Terceiro Terminal Flexível de Regaseificação de GNL do Brasil, tem capacidade de aquecer, regaseificar e injetar no Gasoduto Gascac até 14 milhões de m<sup>3</sup>/dia.

- **Terminal Marítimo Norte Capixaba - ES**

Recebe petróleo dos campos terrestres do norte do Espírito Santo, inclusive petróleo pesado. Escoa o produto por navios atracados na monoboia.

- **Terminal Aquaviário de Barra do Riacho - ES**

Por meio de dutos, o Terminal Aquaviário de Barra do Riacho (TABR) recebe GLP (gás de cozinha) e C5+ (combustível usado na indústria petroquímica) produzidos no Polo de Cacimbas, em Linhares.

- **Terminal Aquaviário de Vitória - ES**

Recebe derivados de petróleo por navio petroleiro e abastece as empresas distribuidoras. O Terminal opera óleo combustível para as indústrias locais e abastece navios com diesel marítimo e com *bunker*, utilizando barcaças.

- **Terminal de Regaseificação da Baía de Guanabara - RJ**

O Terminal Flexível de Regaseificação de GNL da Baía de Guanabara tem capacidade para transferir até 14 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás natural para a malha de gasodutos Sudeste. Atende principalmente às termelétricas da Região Sudeste. Faz parte dos Terminais Aquaviários da Baía de Guanabara (TABG).

- **Terminal Aquaviário de Ilha D'água - RJ**

Localiza-se na Baía de Guanabara e realiza operações de cabotagem, de importação e de exportação de produtos claros, escuros e de petróleo, facilitando o escoamento dos diversos produtos de/para a Refinaria Duque de Caxias e de outras empresas. Também fornece *bunker*, por oleoduto, para navios atracados no Terminal e, por meio de barcaças, para navios atracados no Porto do Rio de Janeiro ou fundeados na Baía de Guanabara.

- **Terminal Aquaviário de Ilha Redonda - RJ**

Localiza-se na Baía de Guanabara, e é interligado à Refinaria Duque de Caxias, Petroflex e Polibrasil por um gasoduto, e pode realizar operações de cabotagem, de importação e de exportação de GLP, de butadieno e de propeno. Normalmente, ocorre carga e descarga de navios de GLP e descarga de navios de butadieno e de propeno.

- **Terminal Aquaviário de Angra dos Reis - RJ**

Localizado próximo à cidade de Angra dos Reis, opera com navios-tanque que transportam petróleo e derivados. A movimentação de petróleo visa, por meio da importação ou cabotagem, atender às refinarias de Duque de Caxias e Gabriel Passos. Atua também como entreposto de exportação.

- **Terminal Aquaviário de São Sebastião - SP**

Recebe petróleo por navio petroleiro e abastece quatro refinarias do estado de São Paulo através dos oleodutos São Sebastião-Guararema e Santos-São Sebastião. Os derivados entram e saem do Terminal pelo oleoduto Guararema-Paulínia. Outra forma de vazão é o envio dos derivados por navios para outros portos nacionais ou para exportação.

- **Terminal Aquaviário de Santos - SP**

Opera dentro do Porto de Santos, localizado no litoral do estado de São Paulo. Os píeres operados pelo Terminal Aquaviário de Santos estão situados no Terminal de Alemoa, à margem direita do canal de Piaçaguera, no estuário de Santos. Tem como função principal operar como elemento regulador do estoque da produção de derivados, transferir e receber de navios e abastecer de *bunker* os navios atracados no Porto de Santos.

- **Terminal Aquaviário de Paranaguá - PR**

Terminal opera com carga e descarga de derivados de petróleo e fornece *bunker* para os navios no Porto de Paranaguá.

- **Terminal Aquaviário de São Francisco do Sul - SC**

O Terminal aquaviário de São Francisco do Sul recebe o petróleo de navios que o descarregam por monoboia. De lá, o petróleo bruto é enviado por oleodutos submarinos até

o Terminal. O Terminal é utilizado para armazenar e transferir o produto para a Refinaria do Paraná através do oleoduto Santa Catarina-Paraná.

• **Terminal Aquaviário de Niterói - RS**

Terminal localizado à margem norte do Rio Gravataí, região metropolitana de Porto Alegre. É constituído de um píer principal com capacidade para embarcações de até 4.000 TPB. Opera carregando barças-tanque de *bunker*.

• **Terminal Aquaviário de Osório - RS**

O Terminal oceânico não abrigado de Osório é constituído por dois sistemas de monoboias instalados em mar aberto, próximos à costa de Tramandaí (RS). Essas monoboias são projetadas para a amarração de navios nas operações de carga e descarga de petróleo e derivados.

• **Terminal Marítimo de Rio Grande - RS**

Opera no Porto de Rio Grande (RS). O píer petroleiro possui três berços de atracação e Píer de Barça. Opera com descargas de petróleo, tolueno e xileno. Realiza, também, transbordo de GLP e abastecimento de navios com *bunker*.

## ANEXO III

### OUTROS ESTUDOS DE CASO DA PETROBRAS

À Petrobras vêm sendo solicitadas ações de remoção de coral-sol em instalações, mudança de rota e extensão de permanência na locação, e inspeção de unidades em área *offshore*. Salienta-se ainda que tais restrições se estendem a toda a cadeia de infraestrutura do setor de óleo e gás, que incluem instalações portuárias, estaleiros e terminais. São requeridas inspeções e remoção/eliminação de coral-sol de unidades marítimas e, por outro lado, algumas instalações costeiras estão sendo impedidas de receber unidades ou equipamentos da indústria de óleo e gás para realização dessas atividades, seja por determinação judicial, pelo atendimento a condicionantes de licença ambiental ou por medida voluntária devido aos riscos jurídicos envolvidos.

Para ilustrar alguns reflexos do tema nos setores, destacam-se alguns casos:

#### **- Plataformas fixas de produção da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas**

Em outubro de 2011, foi instaurado pelo Ministério Público Federal (MPF) de Sergipe um Inquérito Civil com intuito de “apurar impacto ambiental decorrente da bioinvasão do coral-sol na região de Sergipe, em função do trânsito das plataformas da Petrobras na região”. Em maio de 2013, o Ibama/SE realizou vistoria nas plataformas fixas (jaquetas) PCM-06 e PDO-01, tendo nelas verificado a ocorrência de coral-sol incrustado.

Cabe ressaltar que essas unidades foram instaladas no mar completamente desprovidas de qualquer tipo de bioincrustação, uma vez que foram integralmente construídas em terra e transportadas diretamente para a locação sobre balsas, conforme informações descritas no processo de licenciamento ambiental do Projeto de Ampliação do Sistema de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural da Unidade de Operações de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas – Petrobras (UO-SEAL) nos campos de Camorim, Dourado e Guaricema localizados na Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas (Processo Ibama nº 02022.002524/2006) e processo Ibama nº 02028.000126/2011 e no Anexo B – Estudo das Técnicas Atuais de Remoção de Coral-sol do Relatório Final “Estudo sobre o coral-sol na Bacia Sergipe-Alagoas” elaborado para Atendimento à Ação Civil Pública Nº 0801904-32.2015.4.05.8500. Após a instalação, ao longo do tempo, uma rica comunidade biológica foi sendo constituída nesses substratos, pelo assentamento dos propágulos e larvas de organismos bentônicos.

Como decorrência daquela vistoria, foi ajuizada Ação Civil Pública pelo MPF de Sergipe (Processo nº 0801904-32.2015.4.05.8500), em 2015, requerendo à Petrobras a “erradicação e o controle de coral-sol nas duas plataformas vistoriadas e diagnóstico complementar nas demais plataformas e estruturas em águas sergipanas”. O MPF solicitou antecipação de tutela para determinar que a Petrobras apresentasse em 30 dias plano de erradicação da espécie nas duas plataformas. O juiz, entretanto, solicitou manifestação da Petrobras, que apresentou os devidos esclarecimentos. Após ouvir a Petrobras, o juiz ajustou o pedido de antecipação de tutela do MPF para determinar que a Petrobras apresentasse cronograma e respectivo plano de estudo a respeito da espécie e das medidas de controle existentes.

Após recurso do MPF à instância superior e pedidos de reconsideração da Petrobras, em dezembro de 2015, o colegiado, por unanimidade, julgou improcedente o recurso do MPF e manteve a decisão do juiz de Sergipe. Na audiência de saneamento do processo, realizada no início de 2016, foi determinada a participação do Ibama e do MPF na realização dos estudos que deveriam ser elaborados pela Petrobras, a saber: Projeto de Avaliação da Bioincrustação pelo Coral-sol nas instalações da Petrobras no litoral sergipano e Estudo das Técnicas Atuais de Remoção de Coral-sol.

Os estudos foram concluídos e apresentados ao magistrado e ao MPF. A avaliação da bioincrustação nas instalações da Petrobras no litoral sergipano foi uma oportunidade para contribuir com informações inéditas sobre a composição de organismos incrustantes em plataformas de produção e recifes naturais daquela área. As atividades de filmagens submarinas em todas as plataformas de todos os campos de produção de uma bacia sedimentar nunca tinham sido executadas no Brasil e exigiram adequações em função das condições ambientais e de compatibilidade do mergulho com a atividade de produção.

Apesar das condições de mar e tempo na área de estudo, foram utilizadas técnicas de imageamento e inspeção que tornaram possível obter imagens submarinas de qualidade nas 26 plataformas, 7 árvores de natal molhadas e 6 recifes naturais nos campos de Guaricema, Dourado, Caioba, Camorim, Robalo e Salgo. Além dos 28 vídeo-transectos e de 294 vídeos exploratórios, foram obtidas também filmagens dos dutos adjacentes às plataformas, das partes internas e na superfície das pernas das plataformas onde não era possível realizar vídeos em função das condições hidrodinâmicas adversas. Entre os organismos encontrados foi possível identificar a ocorrência do coral-sol (*Tubastraea tagusensis* e *Tubastraea coccinea*), além de outros cnidários como *Agaricia*, *Carijoa*, *Macrorhynchia*, *Montastraea*, *Siderastrea*, *Zoanthidae*, *Plumularioidea* e os corais nativos como *Mussismilia hartii* e *Mussismilia hispida*. Além dos cnidários, a comunidade bioincrustante também foi representada por diversas algas, esponjas, crustáceos, equinodermas, ascídias e poliquetos da espécie *Hermodice carunculata*. Salienta-se que não foi encontrado coral-sol nos ambientes naturais vistoriados, estando esses organismos restritos aos substratos artificiais estudados. Também não foi identificada a presença do coral-sol nas estruturas localizadas no extremo norte de Sergipe, conforme apresentado no Anexo A – Projeto de Avaliação da Bioincrustação pelo Coral-sol nas Instalações da Petrobras no Litoral de Sergipe do Relatório Final “Estudo sobre o coral-sol na Bacia Sergipe-Alagoas, elaborado para Atendimento à Ação Civil Pública Nº 0801904-32.2015.4.05.8500 e condicionante de licença ambiental processo nº 02022.002524/2006.

Quanto ao estudo das técnicas de remoção, foram levantadas as metodologias de remoção de incrustação existentes e avaliadas sua aplicabilidade nas estruturas submarinas de exploração e produção da Petrobras localizadas em Sergipe, considerando aspectos ambientais, de eficácia, de segurança, operacionais e logísticos, não tendo sido identificada tecnologia disponível no mercado, atualmente, para a remoção de coral-sol, aplicável a essas estruturas submarinas artificiais.

### **- Bioincrustação por coral-sol em monoboias alienadas pela Petrobras**

Em setembro de 2011, três monoboias foram alienadas pela Petrobras e, a pedido da empresa compradora, foram entregues na área externa ao Canal de São Sebastião (litoral norte de São Paulo), em março de 2012. A compradora, então, providenciou fundeio dos equipamentos (autorizações e deslocamento) no canal, próximo ao Porto de São Sebastião.

À época, a questão do coral-sol era incipiente no cenário nacional e a Petrobras, assim como as outras empresas e os órgãos públicos, ainda não dispunha de mecanismos e procedimentos de avaliação de bioincrustação.

A partir de uma denúncia, o Ibama – Esreg/Caraguatatuba/SP emitiu a notificação nº 652251, à Petrobras, em setembro de 2012, solicitando esclarecimentos sobre o seu “envolvimento com a venda de monoboia bioincrustada por coral-sol”, em setembro de 2012.

Em março de 2013, foram emitidos uma notificação solicitando a apresentação de projeto técnico de desinfestação; um auto de infração e um Termo de Embargo, “suspendendo as atividades de venda e/ou transporte de equipamentos infestados por coral-sol com foco principal na zona costeira paulista e seu mar territorial”, apesar de já haver registros de coral-sol na região, pelo menos quatro anos antes da chegada dessas monoboias (Mantellato et

al., 2011 & Mantellato, 2012).

Ressalta-se que após a entrega das monoboias ao comprador, este deu prosseguimento à sua retirada da água e desmanche, sendo que em janeiro de 2013 apenas uma monoboia permanecia fundeada no local.

Assim, em novembro de 2013 foi realizada operação de içamento, remoção do coral-sol e de outros organismos incrustantes e o desmanche da monoboia, seguindo metodologia aprovada pelo Ibama, que incluiu inspeção do fundo marinho onde a monoboia esteve fundeada para remoção de eventuais colônias de coral-sol desprendidas. Nessa operação, foram gerados 49 tambores de 200 l de resíduos, que sofreram tratamento com hipoclorito e encaminhados para destinação final em um aterro Classe 1 (Relatório das atividades para o tratamento e disposição final do resíduo sólido oriundo da remoção do material incrustado na monoboia IMODCO IV, apresentado ao SP/Esreg Caraguatatuba/Ibama). Essa monoboia foi alienada por R\$ 28 mil e a operação de remoção resultou em um custo de R\$ 3 milhões.

### **Restrição de utilização do Porto de Maceió e Navegação em águas alagoanas**

Em 2016, foi ajuizada Ação Civil Pública pelo Ministério Público Federal (MPF) de Alagoas (Processo nº 0801783-15.2016.4.05.8000) em face da Petrobras, Transpetro, Administração do Porto de Maceió, IMA-AL e Ibama, que teve como escopo principal proteger o meio ambiente marinho de forma preventiva, especificamente o litoral alagoano da bioinvasão provocada pelo coral-sol, determinando “exigência de apresentação de certificado de limpeza/retirada prévia das espécies invasoras (coral-sol) de seus cascos, por parte de todas as embarcações que venham a trafegar na área e tenham qualquer relação com a exploração e/ou prospecção de petróleo, inclusive aquelas destinadas apenas à prestação de apoio às aludidas atividades, somente sendo autorizada a permanência das mesmas no Cais do Porto de Maceió após apresentação da referida comprovação”.

A eventual aprovação dessa decisão impactaria a utilização do Porto de Maceió pelo setor de petróleo e gás, podendo comprometer o escoamento da produção de Alagoas e a descarga de derivados para abastecimento do estado. Vale registrar que a Petrobras e a Transpetro são responsáveis por aproximadamente 30% do volume de atividades no Porto, com as atividades de descarga de derivados e carregamento de petróleo. Um breve exercício de busca de alternativas indica que, possivelmente, o escoamento da produção do ativo de produção de Alagoas seria interrompido por um (1) ano, antes de ser possível estabelecer outro *modus operandi* para essa atividade. Ressalta-se que as embarcações da Petrobras e Transpetro adotam as melhores práticas de prevenção de bioincrustação existentes, conforme descrito no Anexo I do presente capítulo.

Apesar da Administração do Porto de Maceió ter imputado tal exigência, cabe destacar que a competência para determinar inspeção em meios navais é da Marinha do Brasil. Assim, a Autoridade Marítima Brasileira e as Sociedades Classificadoras, em conformidade com a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida no Mar (em inglês, “*Safety of Life at Sea Convention*” – SOLAS 1974/1988) da IMO, requerem que as embarcações mercantes com arqueação bruta superior a 500 toneladas realizem ao menos duas inspeções na parte externa do fundo do casco em um período de cinco anos. No Brasil as determinações da Solas são refletidas na Normam-01/DPC (2005) – Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto.

Em sessão de julgamento ocorrida em janeiro de 2017, o Tribunal Regional Federal da 5ª Região julgou procedente o recurso apresentado pela Petrobras e, por unanimidade, revogou em definitivo a liminar anteriormente concedida pelo juiz de Primeiro Grau de Maceió que determinava que, a partir de 27/01/2017, embarcações de quaisquer espécies, pertencentes à Petrobras e à Transpetro ou a serviço dessas empresas estariam impedidas de aportar no

Porto de Maceió ou navegar ao longo da costa alagoana, exceto se apresentassem certificado de inspeção visual que atestasse a ausência de coral-sol em suas estruturas, sob pena de multa de R\$ 150.000,00 por embarcação que eventualmente não apresentasse o laudo, ou em que fosse constatada a presença de coral-sol, apesar da apresentação de laudo negativo.

Esse caso ilustra a complexidade da temática do coral-sol, a exemplo da adoção de medidas muitas vezes inviáveis e sem eficácia comprovada, que buscam prevenir/mitigar a disseminação do coral-sol no Brasil, mas sem ponderar mecanismos alternativos que concluam em maior eficácia e menor impacto econômico. Ilustra também a necessidade de clareza diante das competências dos órgãos e da regulamentação existente, bem como os princípios isonômicos de sua aplicação e a necessidade de haver paridade entre os entes da Federação evitando medidas prejudiciais ao desenvolvimento de alguma região.

## ANEXO IV

REMOÇÃO DE CORAL-SOL DO CASCO DA UNIDADE DE PRODUÇÃO DO TIPO FLOATING PRODUCTON STORAGE OFFLOADING UNIT (FPSO) PETROBRAS 66 (P-66) (PROCESSO 02022.002141/2011)

O casco do FPSO P-66 foi construído no Estaleiro Rio Grande (RS), de 2011 a 2014, onde recebeu tratamento de tinta anti-incrustante. Para finalização da integração, a plataforma foi rebocada para o Estaleiro BrasFELS, localizado em Angra dos Reis (RJ) e lá permaneceu até sua saída para locação em fevereiro de 2017. A P-66 iniciou em maio de 2017 a operação no Campo de Lula Sul na Bacia de Santos e agregará uma capacidade produtiva de 150.000 barris de petróleo por dia, representando cerca de 7% da atual produção da Petrobras.

No Estaleiro BrasFELS, após inspeção estrutural no casco da unidade, foi identificada bioincrustação por coral-sol. Diante disso, foi realizada uma vistoria específica visando avaliar e registrar a ocorrência, distribuição e densidade do coral-sol.

Os resultados indicaram baixa densidade de colônias ao longo da estrutura do FPSO, espalhadas de forma esparsa no casco e apresentando dimensões pequenas, sendo a maioria em estágio inicial de crescimento. Tal fato foi comunicado ao Ibama que determinou a seguinte condicionante por ocasião da emissão da Licença de Instalação (LI 1139/2016) da unidade: "O deslocamento da FPSO P-66 até o local pretendido para instalação só poderá ocorrer após expressa manifestação do Ibama, especialmente no que se refere à incrustação por coral-sol."

Com base nos resultados do diagnóstico da incrustação do coral-sol na P-66, foi elaborada e apresentada pela Petrobras em reunião presencial, realizada em 29/12/16, uma proposta de gerenciamento de risco relativa à bioincrustação de coral-sol da unidade, a qual foi objeto do Parecer Técnico nº 005/16 CGPEG/Ibama.

Em função do posicionamento e considerações do Ibama apresentados no referido Parecer Técnico e das características específicas em que se encontrava a P-66, bem como em razão da urgência em dar início à sua produção, a Petrobras apresentou ao CGPEG/Ibama, uma proposta alternativa de manejo do coral-sol do casco da P-66, que foi, após autorização, implementada.

A alternativa de manejo contemplou a execução de um procedimento de remoção manual da incrustação de coral-sol, com contenção de fragmentos e larvas, efetuado no estaleiro BrasFELS.

### **No procedimento de limpeza adotado, foram consideradas as seguintes premissas básicas, com o objetivo de minimização do risco de dispersão desses organismos:**

**1) Contenção de resíduos:** Considerando a indicação atual do Ibama de observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/12) que, em seu Inciso I do artigo 47, proíbe a destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos através de lançamento no mar ou em quaisquer corpos hídricos, optou-se, nesse caso, pela prevenção da liberação dos resíduos oriundos da remoção de coral-sol em ambiente marinho.

**2) Contenção das estruturas reprodutivas (larvas) e dos fragmentos das colônias:** Considerando a existência de artigos científicos, indicando a possibilidade de incremento da disseminação do coral-sol, através do seu manejo manual sem contenção, em virtude da possível liberação de larvas e fragmentos desses organismos, entende-se que sua contenção é premissa, até que seja alcançado consenso científico indicando que essa prática é ambientalmente segura.

Com relação aos fragmentos, destaca-se o estudo de Capel et al. (2015), que verificou que pequenos fragmentos de tecido do coral-sol (em média, com tamanho mínimo de 2 mm), gerados no processo de remoção manual das colônias, podem se regenerar em novas colônias, salientando que isso deve ser considerado em estratégias de manejo e controle dessa espécie.

Já, com relação às larvas, de acordo com Coutinho et al. (2013), "...a retirada manual de uma espécie pode provocar estresse suficiente para que as colônias liberem estruturas reprodutivas. No caso do coral-sol, é conhecido que suas características reprodutivas – de alta fecundidade e rápido assentamento – são atributos que contribuem para o seu potencial de colonização e dispersão (Glynn et al., 2008).

**3) Condições de aplicabilidade da remoção manual:** Os resultados do diagnóstico realizado na plataforma indicaram que a distribuição do coral-sol no casco foi considerada esparsa e de baixa densidade, com registros médios de cobertura de cerca de 1% nas duas seções mais rasas do casco e de cerca de 4% a 7% nas mais profundas. Além disso, as colônias de *Tubastraea* spp. encontravam-se espalhadas na estrutura do casco e foram consideradas pequenas em relação à espessura registrada, sendo a maioria em estágio inicial de crescimento.

Nesse cenário, identificou-se a possibilidade de utilizar a técnica de remoção manual, o que não seria possível com um percentual de recobrimento maior e com colônias bem desenvolvidas. O fato de serem conspícuas, não estando entremeadas com uma vasta e diversa comunidade bioincrustada, também contribuiu para viabilizar essa solução.

**4) Inexistência de tecnologias de remoção de macroincrustação com contenção:** Quanto às tecnologias de eliminação/remoção de macroincrustação, a Petrobras realizou dois amplos levantamentos com fornecedores nacionais e internacionais, considerando vários requisitos (ex.: aplicabilidade a que tipo de embarcação; tipo de tecnologia; disponibilidade no mercado; existência de protótipo; contenção de resíduos; operação manual ou por ROV; aplicação somente em superfícies planas ou também em superfícies complexas e alcance das áreas-nicho; capacidade de remoção de microincrustação ou macroincrustação; entre outros) e verificou que inexistem no Brasil e no mundo, na atualidade, fornecedores de tecnologia eficaz e ambientalmente segura (atendendo às premissas elencadas acima de contenção de fragmentos e larvas), disponível no mercado, para a remoção de macroincrustação.

Nesse sentido, a existência de um grande número de áreas-nicho (8 caissons, 4 caixas de mar e 63 balcões de risers), que dificultariam ou inviabilizariam a remoção por qualquer tecnologia disponível no País, corroborou a opção por metodologia manual.

**5) Elevado grau de colonização pelo coral-sol na Baía da Ilha Grande:** Outro fator considerado foi a existência de fortes indícios de que a P-66 tenha sido incrustada por esses organismos na própria Baía da Ilha Grande. Assim, eventual escape de fragmentos ou larvas, devido a alguma falha pontual no processo de remoção, não implicaria em acréscimo ao *pool* genético das populações de coral-sol presentes na região.

Assim, a solução proposta foi embasada nas condições específicas da P-66 (grau de incrustação, porte, complexidade e localização atual da unidade), nos requisitos para minimizar a dispersão do coral-sol e o alijamento de resíduos durante o processo de remoção, e considerou a distribuição do coral-sol na região onde o casco se encontrava.

Salienta-se que essa proposta metodológica não é passível de aplicação em outras situações que não apresentem as condições supracitadas.

### a) Escopo

A remoção das colônias de coral-sol incrustadas na superfície do casco e nas áreas-nicho da FPSO P-66 foi realizada manualmente, com utilização de raspadeiras de diversos tamanhos em todas as áreas do casco, incluindo as áreas-nicho, contendo as colônias no interior de sacos confeccionados com malha utilizada para coleta de plâncton (abertura de até 0,5 mm).

### b) Procedimento

Para a identificação das colônias de coral-sol, a equipe de mergulho foi orientada por biólogo em reunião preparatória e, também, durante o mergulho, através de comunicação direta com o mergulhador por sistema de imagem e fonia subaquática.

A remoção das colônias de coral-sol incrustadas na superfície do casco e nas áreas-nicho da FPSO P-66 foi realizada manualmente, com utilização de raspadeiras de diversos tamanhos (Figura 1), em todas as áreas do casco. A raspadeira foi posicionada sempre na base da colônia para desprendê-la do substrato.

A remoção foi realizada por duplas de mergulhadores, sendo um responsável pela remoção e outro pela contenção dos organismos removidos no interior de saco confeccionado com malha do tipo utilizada para coleta de plâncton (Figura 2), de modo a evitar que o material coletado e fragmentos caíssem no fundo marinho, assim como larvas fossem liberadas para a coluna de água.



Figura 1 – Ilustração de raspadeiras manuais.



Figura 2 – Ilustração de rede de plâncton.

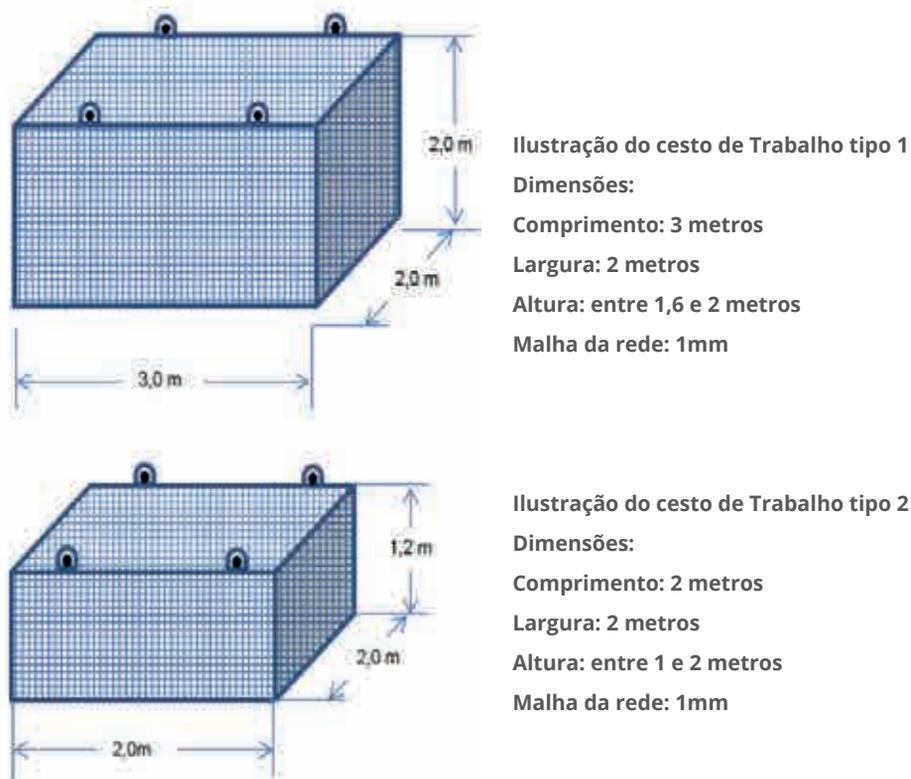
Após fechados, os sacos foram armazenados em caixas plásticas, içadas manualmente para a embarcação de apoio. Posteriormente, as caixas plásticas foram direcionadas ao estaleiro, para acondicionamento e destinação final dos resíduos, de acordo com as normas ABNT e em observância aos requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/12).

Além da coleta dos fragmentos em sacos de malha de até 0,5 mm, a operação ainda contou com cestos para coleta de possíveis fragmentos liberados durante a remoção. Os cestos foram construídos com estruturas metálicas forradas com redes de trama de 1 mm (Figura 3).

A estrutura foi mantida em equilíbrio por meio de flutuadores e cabos junto ao costado da embarcação (Figura 4). Presa a cada cesto, posicionou-se uma “bandeira” feita com a rede de 1 mm conectada ao casco por meio de ímãs, a fim de impossibilitar a passagem de material removido entre o casco e o cesto. O mergulhador executou a remoção manual com o cesto posicionado logo abaixo da área de operação. Os cestos foram manobrados por controle de flutuabilidade operados pela equipe de mergulho.

Cada cesto operou com um conjunto de 4 flutuadores, realizando o movimento vertical por meio de cabos e combinações de roldanas. Tambores de 50 ou 200 l foram utilizados como flutuadores.

O cesto “tipo 1” foi usado preferencialmente no costado (bombordo, boreste, proa e popa). O cesto “tipo 2” foi utilizado para a limpeza do fundo, com flutuação neutra. Onde não foi possível o emprego do cesto “tipo 2”, alternativamente, foi aplicada uma rede de 1 mm fixada ao costado por ímãs.



**Figura 3** – Esquemático para construção dos cestos forrados com tela de 1 mm.

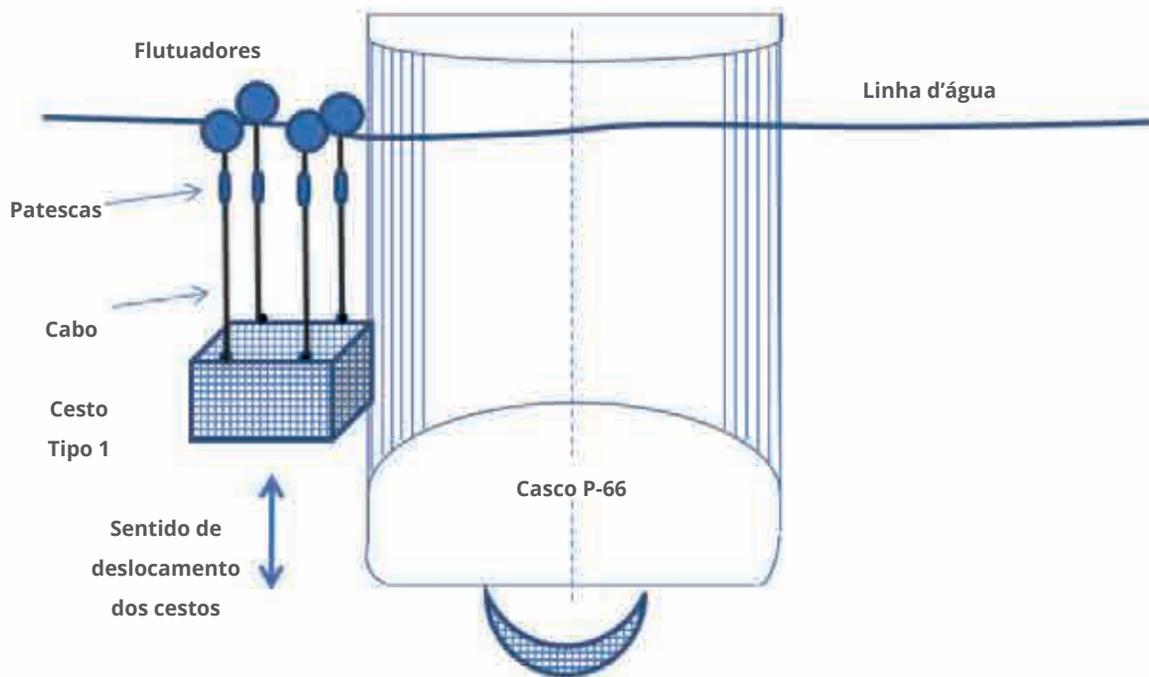


Figura 4 - Esquemático de posicionamento dos cestos e rede.

Diante da emissão das orientações do Parecer Técnico nº 009/2017 Coexp/Ibama e, com base em avaliação crítica do processo pelos responsáveis pela execução das atividades, em conjunto com a Petrobras, foram estabelecidos os procedimentos adicionais elencados a seguir:

- 1) Zoneamento do casco e definição de nomenclatura para efetuar o devido registro do andamento dos trabalhos;
- 2) Estabelecimento de procedimento para avaliação da densidade de coral-sol em cada zona por meio de foto-quadrats;
- 3) Estabelecimento de procedimento de coleta e medição das dimensões das colônias de coral-sol;
- 4) Estabelecimento de procedimento para observação da existência de tinta aderida à base das colônias de coral-sol removidas;
- 5) Emissão de relatórios diários dos serviços realizados.

### c) Recursos necessários e condições

- Foram utilizadas para o serviço, de três a cinco equipes de trabalho por dia no decorrer do serviço. Cada equipe foi composta de cinco mergulhadores, sendo um deles o supervisor de mergulho.
  - A atividade de mergulho contou com o apoio de três embarcações de apoio.
  - O tempo de permanência na água de cada equipe de mergulho foi de no máximo duas horas.

### d) Prazo para execução da atividade

As atividades de remoção do coral-sol tiveram duração de 22 dias.



Grupo Técnico de Trabalho Coral-Sol do PSRM:

**Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC (Coordenador)**

Andrei de Abreu Sodré Polejack

Siddhartha Georges Valadares Almeida de Oliveira Costa

**Ministério da Defesa**

**Estado Maior da Armada – EMA**

Terêsa Cristina Cavalcante Soares

Alessandro Santos Ikawa

**Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – SeCIRM**

Flávio Luiz Giacomazzi

Sidnei da Costa Abrantes

**Ministério de Minas e Energia**

Renato Lima Figueiredo Sampaio

**PETROBRAS**

Alexandre Gonçalves Fachin

Jane Beatriz Narvaez Mauro

**Ministério do Meio Ambiente**

Roberto Ribas Gallucci

Ugo Eichler Vergillo

Carlos Henrique Targino Silva

**IBAMA**

Henrique Anatole Cardoso Ramos

Francisco Joeliton dos Santos Bezerra

**ICMBio**

Tainah Corrêa Seabra Guimarães

**Ministério dos Transportes - Agência Nacional de Transportes Aquáticos – ANTAQ**

Alessandro Max Bearzi Ramalho

Ricardo Lopes de Souza

**Confederação Nacional das Indústrias – CNI**

Elisa Romano Dezolt

Ana Cristina Monteiro Mascarenhas



**Comissão Interministerial  
para os Recursos do Mar**

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



[www.mctic.gov.br](http://www.mctic.gov.br)



mctic



@mctic



@mctic.gov.br



sintonizemcti