

---

Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## PROTEÇÃO CATÓDICA x INCRUSTAÇÃO

Hugo F. Goulart<sup>a</sup>, José C. M. Costa<sup>b</sup>

### Abstract

---

The objective of this paper is to present field evidences of the difficulties in the application of cathodic protection in submerged structures with marine inlay.

The records reported here are the results of more than 30 years of experience in the corrosion area of the presenters of this paper.

**Keywords:** marine inlay, cathodic protection.

### Resumo

---

O objetivo deste trabalho é apresentar evidências de campo das dificuldades na aplicação de proteção catódica em estruturas submersas com incrustação marinha.

Os registros aqui relatados são os resultados de mais de 30 anos de experiência, na área de corrosão, dos apresentadores deste trabalho.

**Palavras-chave:** incrustação marinha, proteção catódica.

### Introdução

---

Foi realizada uma intensa busca de trabalhos publicados sobre os problemas funcionais de um sistema de proteção catódica em estruturas com incrustação marinha e nada foi encontrado.

Não foram encontrados estudos técnicos da explicação detalhada do porquê que este desvio ocorre.

Será aqui apresentado problemas encontrados para um sistema de proteção catódica funcionar adequadamente com os catodos com incrustação marinha.

---

<sup>a</sup> Físico – ZINCOLIGAS

<sup>b</sup> Engenheiro Civil – Técnico de Inspeção de Equipamentos - PETROBRAS (APOSENTADO)

## Metodologia

---

### RELAÇÃO ENTRE A INCRUTAÇÃO MARINHA X PROFUNDIDADE

#### EFEITOS E FATORES QUE AFETAM A INCRUSTAÇÃO MARINHA

As incrustações marinhas são constituídas pela flora e pela fauna que habitam o ambiente marinho e colonizam as estruturas marítimas.

O maior problema do ponto de vista de engenharia é que esses seres ao se fixarem nessas instalações, recobrando todos os elementos estruturais submersos, ocasionam um aumento de sua área, além de modificarem também a textura da superfície do material, que passa de lisa para rugosa.

Causam o ocultamento de características da estrutura, como em válvulas e em sinalizações.

Causam mascaramento de descontinuidades e danos diversos, impossibilitando a sua detecção pela inspeção visual.

Vários fatores afetam a distribuição e desenvolvimento da incrustação marinha, nas partes submersas das estruturas offshore:

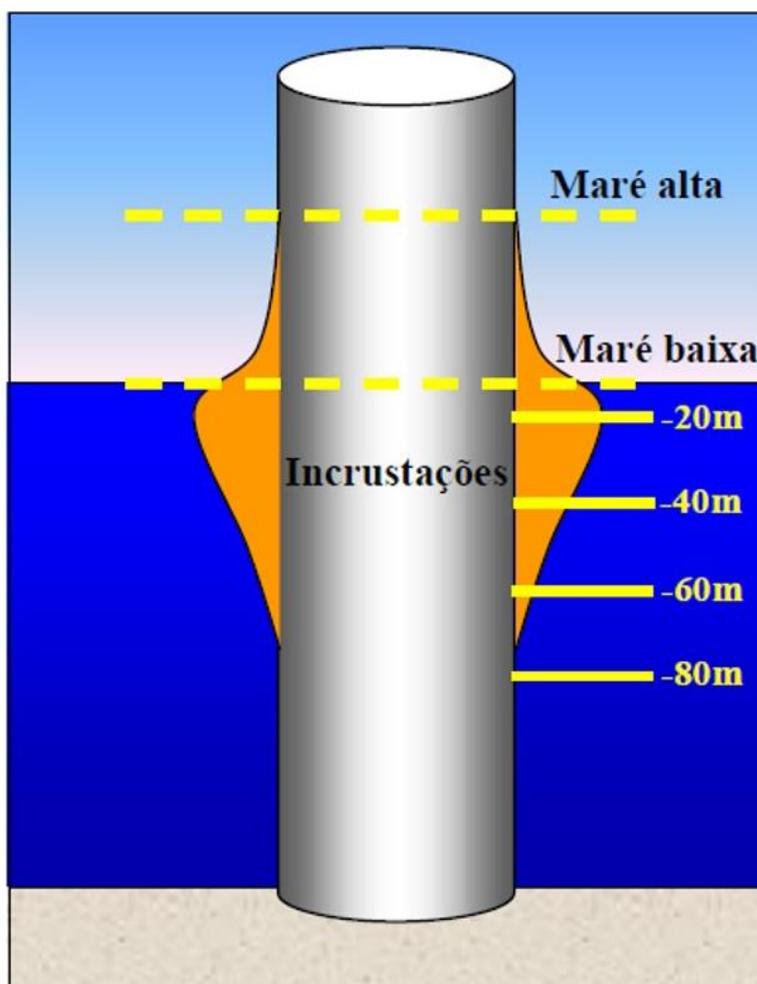
- temperatura;
- profundidade;
- suprimento alimentar;
- taxa de fluxo do fluido;
- nível de proteção catódica;
- salinidade.

**Temperatura:** o desenvolvimento da vida marinha aumenta com o acréscimo da temperatura. Em águas em torno de 10°C, qualquer elevação na temperatura da água dobrará a taxa de crescimento.

Próximo aos 30°C a taxa começa a diminuir e quando chega, aproximadamente, a 35°C, o crescimento tende a se estabilizar.

**Profundidade:** a penetração de luz no ambiente marinho está diretamente relacionada com a profundidade e transparência das águas (maior ou menor quantidade de partículas em suspensão). Há uma diminuição sensível na qualidade e quantidade de luz que penetra no ambiente marinho e essa diminuição acaba por afetar a produtividade primária que é realizada pelos vegetais através da fotossíntese.

Com a diminuição da produtividade dos vegetais ocorre também uma diminuição na quantidade de seres marinhos que dependem direta ou indiretamente desses organismos, ou seja, à medida que se aumenta a profundidade em uma estrutura marítima, diminui a quantidade de seres incrustados nos elementos estruturais. Veja o Desenho 01.



Desenho 01 – Exemplo do desenvolvimento da incrustação em uma tubulação.

**Suprimento alimentar:** a quantidade de nutrientes disponíveis no ambiente marinho determinará a taxa de crescimento da incrustação em uma estrutura offshore. Maior taxa de nutrientes, maior desenvolvimento da vida marinha.

**Taxa de fluxo:** de maneira geral o crescimento da incrustação será afetado pelas correntes marinhas, já que correntes acima de 01 nó dificultam a fixação desses organismos na estrutura. A correnteza diminui durante certo tempo, como acontece na mudança de marés, esses organismos conseguem se fixar-se e colonizar a instalação. Uma vez fixados podem suportar correntezas fortes. O maior fluxo de água também pode trazer mais nutrientes favorecendo o crescimento de incrustação.

**Proteção catódica:** em algumas situações, o uso de corrente impressa pode promover um aumento nas incrustações, embora a causa disso ainda não esteja bem compreendida.

**Salinidade:** na água doce, a taxa de crescimento e o tipo de incrustação são bastante limitados. Com o aumento da salinidade, o crescimento da incrustação aumenta até a salinidade atingir níveis normais, onde o crescimento é máximo.

## Tipos de incrustação

Do ponto de vista da engenharia subaquática existem dois tipos de incrustações marinhas:

**Incrustações duras:** compostas de incrustações calcárias ou organismos como conchas, por exemplo: corais duros, cracas, mexilhões, ostras, etc.

**Incrustações moles:** compostas de um grande número de seres marinhos, tanto animais como vegetais, tais como: algas, corais moles, espongiários, etc.

Na Foto 01 é apresentada a incrustação em contraventamento e anodo a 4 m de profundidade e na Foto 02 é apresentada a incrustação em contraventamento a 15 m de profundidade.



Foto 01 – Exemplo de incrustação em contraventamento e anodo a 4 m de profundidade.



Foto 02 – Exemplo de incrustação em contraventamento a 15 m de profundidade.

Na Foto 03 é apresentada a incrustação em contraventamento, e anodo a 30 m de profundidade.

Na Foto 04 é apresentada a incrustação em sump e guia a 47 m de profundidade.



Foto 03 – Exemplo de incrustação em contraventamento e anodo a 30 m de profundidade.



Foto 04 – Exemplo de incrustação em sump e guia a 47 m de profundidade.

Na Foto 05 é apresentada a limpeza de incrustação com picador mostrando alvéolos por baixo da craca.



Foto 05 – Apresenta a operação da limpeza de incrustação.

## RELATO DAS EVIDÊNCIAS

Evidência nº 01:

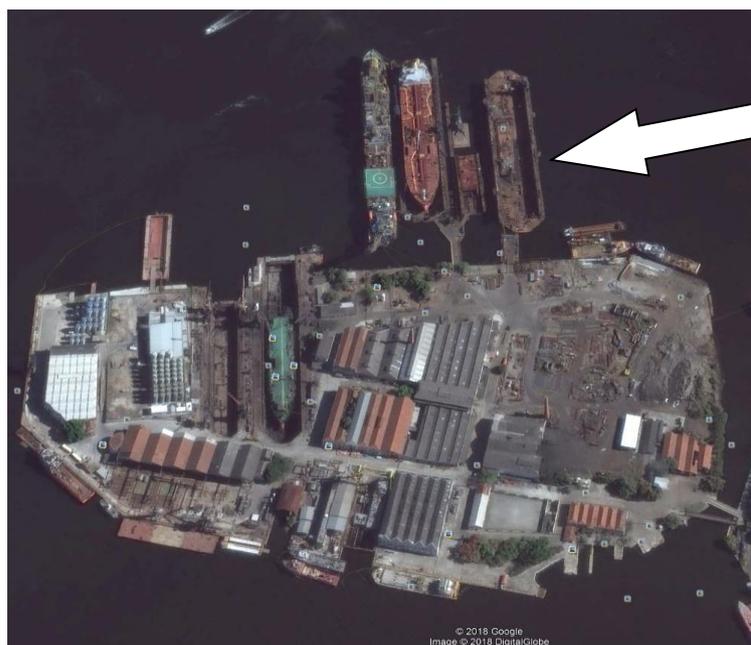
Há aproximadamente 30 anos atrás foi realizado o fornecimento de um sistema de proteção catódica por corrente impressa para o Dique Flutuante Almirante Alexandrino, que está operante até a presente data, no Estaleiro RENAVE / ENAVI, localizados na Ilha de Viana, em Niterói - RJ. O acesso é somente por barco.

Na Foto 06 apresenta-se uma imagem aérea de toda a Ilha de Viana.

Nas Fotos 07, 08 e 09 apresentam imagens satelitais com o destaque do Dique Almirante Alexandrino.



Foto 06 – Apresenta-se uma imagem aérea de toda a Ilha de Viana.



Dique Almirante  
Alexandrino

Foto 07 – Apresenta-se uma imagem satelital, com o destaque do Dique Almirante Alexandrino.

Dique Almirante  
Alexandrino



Foto 08 - Apresenta-se uma imagem satelital, com o destaque do Dique Almirante Alexandrino.

Observação: um dique emerso fica na condição de calado mínimo para que o estaleiro trabalhe na embarcação que será reparada, que está dentro do dique, totalmente fora da água do mar. E quando o dique está submerso (condição de calado máximo) é em um curto prazo de tempo, suficiente para a embarcação poder entrar ou sair deste dique (de 24 à 48 horas). Na maioria do tempo este dique fica na condição emerso.

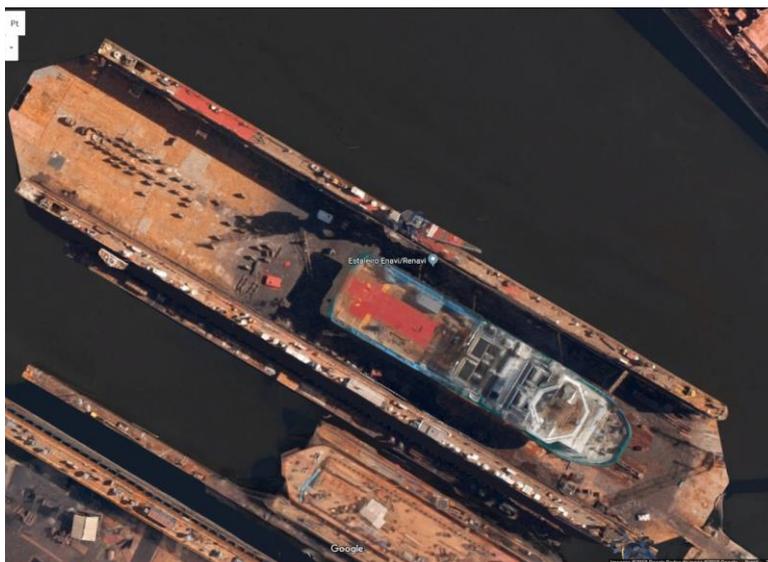
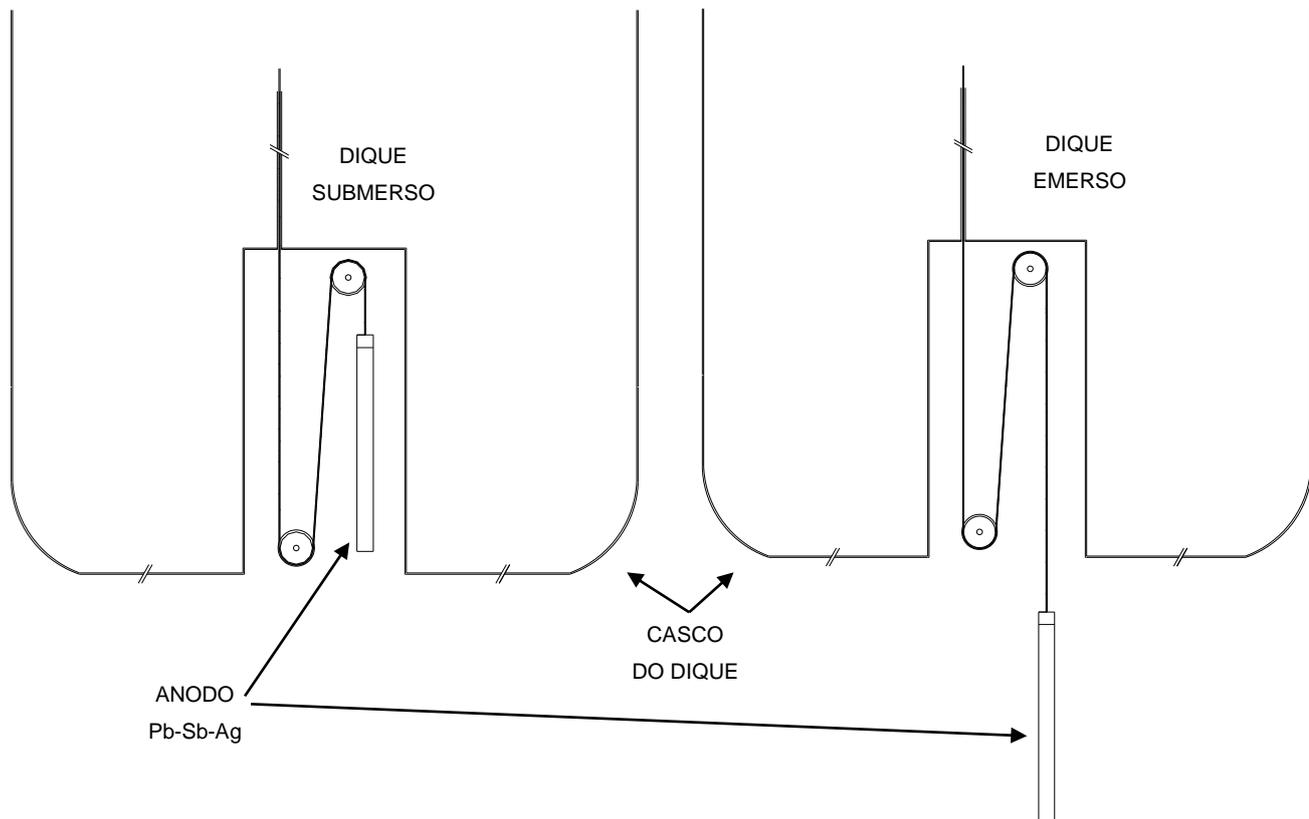


Foto 09 - Apresenta-se uma imagem satelital, com o destaque do Dique Almirante Alexandrino.

Não foi resgatada a documentação da época relativa ao aqui descrito, que são relatos do que então foi feito, mas que não impacta com o objetivo principal deste trabalho.

O sistema instalado de anodos, originalmente neste dique, era com um sistema mecânico que quando o dique estava submerso (tanques de lastro alagados) os anodos eram recolhidos e quando o dique estava na condição de emerso os anodos ficavam ativos. Vejam o Desenho 02, a seguir.



Desenho 02 – Exemplo do original funcionamento do sistema dos anodos.

O sistema do Desenho 02 na prática não funcionou. Esta reentrância para recolhimento dos anodos ficou totalmente incrustada paralisando totalmente esta movimentação dos anodos. Os anodos utilizados eram de Chumbo Antimônio Prata. Hoje substituídos pelos anodos de Ti MMO.

Em função da renovação do seguro deste dique foi exigidas várias obras de melhorias, e que o sistema de proteção catódica por corrente impressa eram um dos itens exigidos.

O sistema era constituído: um retificador automático com saída de 15 Vcc – 200 Acc, com quatro anodos Pb-Sb-Ag e dois eletrodo de Ag/AgCl (Prata / Cloreto de Prata).

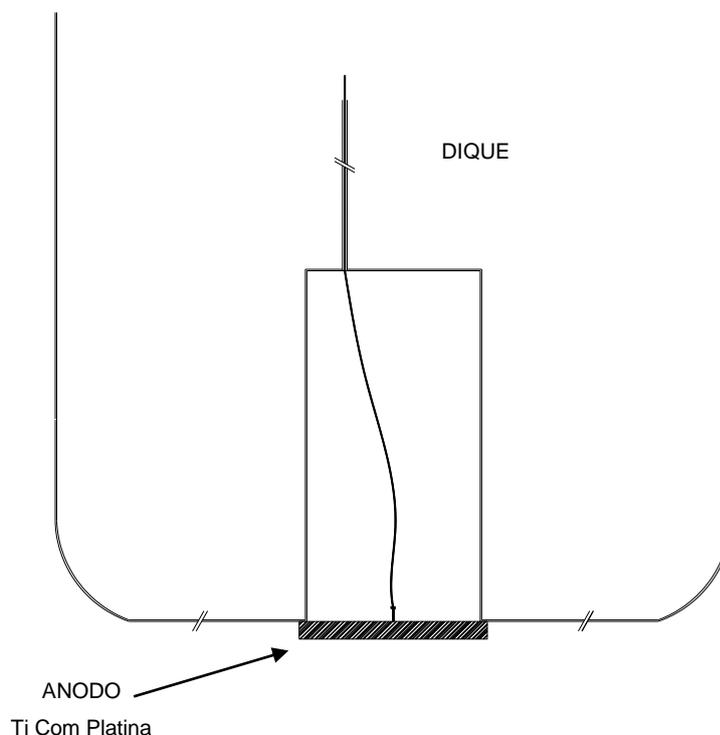
O sistema original completo era:

- 01 Retificador Automático com saída de 15 Vcc - 200 Acc;
- 04 Anodos de Pb-Sb-Ag e
- 02 Eletrodos de Ag/AgCl.

O sistema estava inoperante e foi definido realizar-se uma reforma nos retificadores e pela colocação dos anodos e dos eletrodos fixos no casco deste dique, veja o Desenho 03, a seguir.

Este sistema foi reestruturado para:

- 01 Retificador Automático com saída de 15 Vcc - 200 Acc (com um sistema modernizado de controle);
- 04 Anodos de Ti Platinizado e
- 02 Eletrodos de Ag/AgCl.



Desenho 03 – Exemplo de como ficou instalado o novo anodo de Ti Platinizado.

No Desenho 03 apresenta-se como ficou a instalação dos anodos de Ti Platinizado, em substituição ao que está apresentado no Desenho 02.

A instalação do sistema era da responsabilidade do Estaleiro RENAVE / ENAVI, com supervisão do fabricante, fornecedor do novo sistema.

Com o sistema todo instalado, os primeiros testes foram realizados no retificador, que apresentava a tensão máxima e a corrente zero, na sua saída. O potencial indicava nos eletrodos de referência a falta de proteção contra a corrosão.

Perdeu-se algum tempo considerando que os cabos elétricos para os anodos estavam abertos e que na instalação pelo Estaleiro teria havido algum desvio. Tudo foi averiguado e testado, chegando-se à conclusão de que estava tudo conforme o novo projeto.

Iniciou-se o teste no retificador considerando alguma eventual falha funcional. Foi realizado um teste diretamente neste equipamento, colocando uma carga resistiva. O retificador funcionou normalmente. Foi instalado um simulador do eletrodo de referência e o automatismo respondia corretamente.

Foram apresentados estes detalhes ao pessoal do Estaleiro que insistia em que o sistema não funcionava. Depois de muitos testes e análises, constatou-se que o casco deste dique tinha uns 10 cm de vasta incrustação marinha e com algas alcançando 50 cm. Nesta etapa foi considerado que o problema poderia estar neste ponto.

## O TESTE

Foi definido com o Estaleiro que quando este dique fosse submerso, para a entrada de uma embarcação para reparo, que uma equipe do fabricante deste novo sistema iria ser convocada para acompanhar. No dia deste evento o fabricante preparou um disco de Ti Platinizado conectado com um cabo elétrico, com comprimento suficiente, e foi conectado ao terminal positivo do retificador. A parte interna do dique não tinha incrustação e quando a estrutura ficou submersa foi colocado, manualmente, este anodo dentro da água do mar, na parte interna do dique, e para surpresa o retificador começou a injetar uma elevada corrente (o retificador estava ajustado para funcionar manualmente pelo ajuste de um potenciômetro).

Com este resultado ficou evidenciada a certeza funcional do retificador, mas necessitava constatar o funcionamento dos anodos e dos eletrodos de referência, para o Estaleiro, somente esta comprovação não era o suficiente para o cliente.

Uma empresa de mergulho foi orientada que fosse retirada a incrustação marinha, e conforme esta começou a ser eliminada, a corrente do retificador começou a indicar funcionamento, comprovando o isolamento elétrico feito pela incrustação.

Evidência nº 02:

Há aproximadamente 10 anos foi realizado um fornecimento de anodos galvânicos de alumínio, tipo APCE-135 (515 x 120 x 40 mm), para o Terminal de São Sebastião da PETROBRAS (TEBAR), com o objetivo de serem instalados nas boias de sinalização marítima, que tem a finalidade de orientação para as embarcações de grande porte, de terem seu trajeto com segurança, em áreas de profundidade segura, até o local de atracação. Na Foto 10 apresenta-se a imagem satelital do Terminal da Petrobras de São Sebastião com o canal de tráfego de navios, onde boias de sinalização estão instaladas.



Foto 10 - A apresenta-se a imagem satelital do Terminal da Petrobras de São Sebastião.

Estes anodos foram instalados pela PETROBRAS, não tendo evidências dos detalhes de como foi realizado este serviço (mergulhadores, dique seco, ...).

Após o prazo de um ano, da data do fornecimento citado, um relatório da PETROBRAS informa que os anodos passivaram, e que estavam como estado de novo.

Não foram encontradas as fotos desta evidência, o que é apresentado em seguida são exemplos similares.

As fotos apresentadas na época (realizadas por mergulhador) mostravam um anodo sem evidências de perda de massa (o nome da empresa ainda era visível), com poucas incrustações marinhas em seu corpo e muita incrustação marinha em toda a estrutura submersa da boia (catodo).

Neste primeiro momento o relatório da PETROBRAS indicava que a liga do anodo estava fora de especificação e por este motivo não funcionou.



Foto 11 – Apresenta-se uma tradicional boia instalada no mar.



Foto 12 – Apresenta-se uma boia em área seca e após reparo realizado.

Na Foto 11 apresenta-se uma tradicional boia instalada no mar.

Na Foto 12 apresenta-se uma boia em área seca e após reparo realizado, em que se pode observar os anodos de sacrifício.

A PETROBRAS enviou um anodo para o fabricante para análise da composição química da liga.

O histórico destas boias e dos anodos instalados, no tocante ao tempo de instalação dos anodos, como foi instalado, o prazo dos anodos anteriores e do prazo de finalização dos anodos até a instalação dos novos, foi o seguinte.

Estes anodos tinham sido conectados ao catodo por meio de solda da sua alma de aço, já descartando qualquer problema oriundo de conexões inadequadas por meio de haste enroscada e porca, ou algo similar.

Por um relato deste cliente, houve um desvio administrativo interno e teve uma demora na identificação de que a vida dos anodos nas boias tinha-se acabado até a compra e a instalação dos novos anodos.

Nas Fotos 13, 14 e 15 apresenta-se exemplos de estruturas submersas incrustadas.



Foto 13 - Exemplo de estrutura submersa incrustada.



Foto 14 – Exemplo de estrutura incrustada.



Foto 15 – Exemplo de estrutura incrustada.

## Resultados e discussão

---

O caso relatado nas Evidências nº 01 e nº 02 mostram que a incrustação severa realiza um isolamento elétrico entre o anodo e o catodo, e caso aconteça uma demora nesta reposição, esta vida marinha se desenvolve isolando eletricamente o catodo, onde anteriormente a corrente deste anodo criava a pilha galvânica, protegendo a estrutura submersa contra a corrosão.

Para a evidência nº 02 vale lembrar que a tensão da pilha eletroquímica de um anodo galvânico de alumínio com o aço carbono convencional é de 0,500 Vcc.

Pelas evidências apresentadas são constatados os problemas gerados pela incrustação no catodo de estruturas submersas em água do mar.

Um dos objetivos deste trabalho é motivar centros de pesquisa para que possam estudar:

- tempo de crescimento da vida marinha até inviabilizar a instalação de um sistema de proteção catódica;
- as evidências aqui apresentadas foram resultados oriundos de águas do mar poluído (baía de Guanabara), de água do mar limpa (ilha bela – litoral de sp) e de água do mar da bacia de campos (Macaé). O Brasil é classificado com uma salinidade média de 37%, mais elevada que a das águas oceânicas do planeta (média de 35%) e com temperaturas elevadas (região tropical). Como será o desenvolvimento da vida marinha em outros locais do planeta?
- estudo da bioquímica da vida marinha para explicar o motivo do isolamento elétrico, mesmo com tensões elevadas de um sistema de proteção catódica;
- até que nível de tensão a vida marinha realiza o isolamento elétrico?
- qual o resultado e a reação da vida marinha com a aplicação de elevadas tensões elétricas?
- será possível eliminar, restringir ou aumentar o desenvolvimento da vida marinha com a aplicação de altas tensões elétricas?

## Conclusões

---

Áreas submersas em água do mar (aço carbono) é que se deve proteger contra a corrosão. Após o crescimento expressivo da vida marinha (incrustação), fica inviável o funcionamento de sistemas de proteção catódica, independentemente de serem sistemas com anodos galvânicos ou por corrente impressa.

Quanto maior a profundidade menor é a quantidade de incrustação.

## Referências bibliográficas

---

- Nicolau, André L. - Apostila de Intervenção Subaquática – Inspeção Visual Subaquática, 2017.