

# LIMPEZA DE CASCOS DE FPSO: ESTRATÉGIA, PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E RESULTADOS PRELIMINARES

**Rafael Santana Queiroz**<sup>1</sup>; Daniel Marques de Souza<sup>2</sup>; Erick Cerqueira das Neves<sup>3</sup>; Tiago Nunes Lima<sup>4</sup>; Bruno Caetano dos Santos Silva<sup>5</sup>; Rodrigo Santiago Coelho<sup>6</sup>;

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico; Bolsista PDI Nível 3 EMBRAPPII; rafael.queiroz@fbter.org.br

<sup>2</sup> Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial; Centro Universitário SENAI CIMATEC; daniel.ms@fieb.org.br

<sup>3</sup> Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais; Centro Universitário SENAI CIMATEC; erick.neves@fieb.org.br

<sup>4</sup> Doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais; Centro Universitário SENAI CIMATEC;

tiago.nunes@fieb.org.br

<sup>5</sup> Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial; Centro Universitário SENAI CIMATEC; bruno.silva@fieb.org.br

<sup>6</sup> Doutor em Engenharia de Materiais e Metalúrgica; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA;

rodrigo.coelho@fieb.org.br

## RESUMO

A presença de incrustações marinhas é uma realidade em diversos FPSO que operam em águas nacionais e internacionais. Esses microrganismos se acumulam no exterior do casco das embarcações e são responsáveis por aumentar a força de arrasto, acelerar a taxa de corrosão e ocultar defeitos superficiais. A fim de disponibilizar um método eficaz na remoção dessas incrustações, está sendo desenvolvida, no SENAI CIMATEC, uma ferramenta robótica de inspeção e limpeza, que utiliza uma escova polimérica para remoção das incrustações. Com o objetivo de averiguar a eficiência das faixas operacionais sugeridas pelo fabricante dessa escova, bem como extrair parâmetros com melhor desempenho para aplicação direta em um sistema embarcado, uma estratégia de planejamento experimental foi proposta. Os resultados preliminares mostraram quais parâmetros e níveis deveriam ser utilizados nos testes finais, que serão executados com uso do método de Taguchi, de forma que haja confiabilidade estatística mesmo com um número limitado de corpos de prova.

**PALAVRAS-CHAVE:** Incrustação marinha, Limpeza de casco, FPSO, Método de Taguchi.

## 1. INTRODUÇÃO

A causa mais significativa de irregularidades no casco de embarcações é a presença de incrustações, das quais animais de corpo duro como cracas, mexilhões, vermes tubulares e briozoários são as mais comuns. Embora os esporos de algas marinhas e certas larvas de cracas sejam capazes de se fixar em fluxos de água de até 10 nós, ainda é assumido que a maior parte dos assentamentos no casco ocorre enquanto a embarcação está estacionada em posição ancorada, como ocorre em uma Unidade Flutuante de Armazenamento e Transferência (FPSO – *Floating Production Storage and Offloading*).<sup>1</sup>

Um FPSO tem a vantagem de possuir capacidade de armazenamento que o permite operar a grandes distâncias da costa, onde a construção de oleodutos é inviável.<sup>2</sup> Em contrapartida, seu casco imerso favorece o crescimento de algas, cracas, mexilhões e outros crustáceos que podem prejudicar seu desempenho hidrodinâmico e afetar adversamente o serviço das instalações imersas. Para mitigar esse problema utiliza-se tinta anti-incrustação, que é um veículo com pigmentos que dão corpo e cor, além de materiais tóxicos para o crescimento de vegetais e animais marinhos.<sup>3</sup>

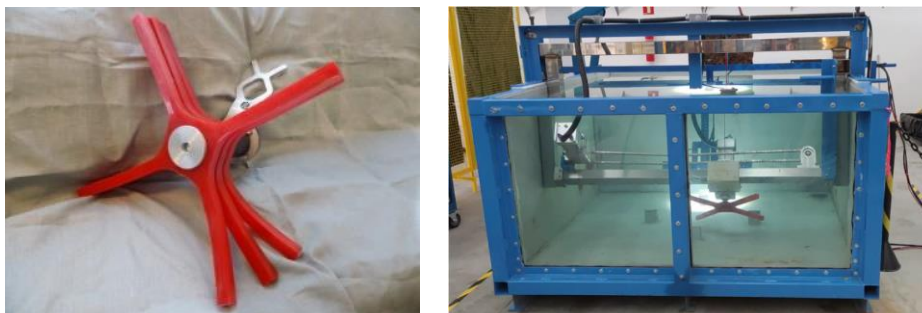
Eventualmente pode-se haver necessidade de inspeção do casco de um FPSO em operação. Em caso de ineficiência da tinta anti-incrustação, seja por fim da vida útil ou ausência de manutenção, torna-se necessária a limpeza do casco para aplicações de técnicas de inspeção, como ultrassom por imersão. No SENAI CIMATEC está sendo desenvolvida uma ferramenta robótica para limpeza e inspeção de cascos de FPSO e que, dentre seus componentes, utiliza-se uma escova polimérica embarcada no módulo de limpeza para remoção das incrustações marinhas sem danificar o revestimento.<sup>4</sup>

O presente artigo visa apresentar uma estratégia experimental para validação da eficiência do módulo de limpeza. Para atingir esse objetivo, são realizados testes exploratórios para seleção dos melhores parâmetros operacionais e é escolhido o método Taguchi para realização dos ensaios finais pois, comparado a outros métodos, possui a vantagem de que vários fatores podem ser otimizados simultaneamente e mais informações quantitativas podem ser extraídas de menos ensaios experimentais.<sup>5</sup>

## 2. METODOLOGIA

Seis chapas iguais de aço carbono ASTM A-36, sem revestimento anti-incrustante e com dimensões de 1000 x 800 x 6 mm foram deixadas submersas no Aratu late Clube, Simões Filho – BA, pelo período de um ano, para cultivo de incrustações de corpo duro. Apesar de espessuras de cascos de FPSO serem da ordem de 22 mm, utilizou-se corpos de prova com 6 mm para facilitar a instalação e manobra das chapas. O sistema robótico para remoção das incrustações foi então testado em diferentes configurações operacionais, em um tanque de testes no SENAI CIMATEC Park, Camaçari - BA, conforme indicado pela Figura 1.

Figura 1: Escova polimérica FlexiClean® (à esquerda) e estrutura de testes montada para validação de ferramenta robótica de limpeza (à direita).



Desenvolvido no SENAI CIMATEC, o tanque de testes atendeu todos os pré-requisitos de confiabilidade listados para execução dos experimentos. Chapas e perfis de aço SAE 1020 de 3 mm de espessura foram utilizados na estrutura, enquanto uma chapa de policarbonato transparente de 8 mm de espessura foi utilizada na parte frontal. O tanque teve suas dimensões internas fixadas em 2039 x 1894 x 977 mm, totalizando em capacidade de aproximadamente 3773 l.

Das seis chapas sobre as quais foi cultivada vida marinha, três foram reservadas para realização de testes exploratórios, duas para realização dos testes finais e uma para repetição dos melhores resultados, para conferência de maior confiabilidade estatística.

Nos testes exploratórios, foram variados os parâmetros julgados serem os mais impactantes na remoção das incrustações, a saber: ângulo de ataque e altura da ferramenta, tempo de limpeza, número de varreduras e rotação. Cada chapa foi subdividida em seis faixas virtuais a fim de ser mais bem aproveitada para estudo dos parâmetros. A validação dos resultados foi feita de forma qualitativa, através de inspeção visual.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes exploratórios mostraram que, quanto maior o tempo, o número de varreduras e a rotação, melhor é o aspecto da limpeza. Os resultados de um dos testes – feito com ângulo de ataque fixado em 30° e altura da ferramenta em 91,6 mm – podem ser observados qualitativamente na Figura 2.

Figura 2: Resultados de teste exploratório.

	ID	Tempo(s)	Rotação (rpm)	Número de varreduras
A6	A6	2	233	2
A5	A5	2	200	2
A4	A4_v2	30	233	4
A4	A4	2	200	4
A3	A3	2	150	2
A2	A2	2	100	2
A1	A1_v2	2	50	2
A1	A1	2	50	2

Após realização dos testes exploratórios, foram identificados níveis relevantes dentro de cada parâmetro para execução dos testes finais, que estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e níveis dos testes finais.

Parâmetros	Níveis					
Ângulo de ataque [°]	30	45	60	-	-	-
Altura da ferramenta [mm]	100	130	160	-	-	-
Tempo sobre superfície [s]	5	10	15	20	30	40
Número de varreduras	2	4	6	-	-	-
Rotação [rpm]	230	-	-	-	-	-

Diante do número de corpos de prova disponível e dos parâmetros operacionais que se desejava testar, optou-se pela utilização de uma matriz de Taguchi L18 (6<sup>1</sup>) (3<sup>6</sup>). Isso significa que 18 condições experimentais serão executadas, sendo um parâmetro com seis níveis e os outros com três níveis. A Tabela 2 mostra a matriz de testes planejada, onde os “*dummies*” são parâmetros sem função, mas necessários para que a matriz resultante seja ortogonal. Após a execução dos 18 testes em duplicata, os melhores resultados em função da análise de variância serão testados novamente para aumentar a confiabilidade estatística do experimento.

Tabela 2: Matriz de testes a partir do método de Taguchi.

#	Tempo (s)	Altura (mm)	Ângulo (°)	Varreduras	RPM	Dummy 01	Dummy 02
1	15	160	30	6	230	x	x
2	30	160	30	4	230	x	x
3	20	130	30	2	230	x	x
4	40	130	30	6	230	x	x
5	20	160	45	4	230	x	x
6	40	160	45	2	230	x	x
7	5	160	60	6	230	x	x
8	10	160	60	2	230	x	x
9	10	100	30	4	230	x	x
10	5	100	30	2	230	x	x
11	5	130	45	4	230	x	x
12	10	130	45	6	230	x	x
13	15	130	60	4	230	x	x
14	30	130	60	2	230	x	x
15	15	100	45	2	230	x	x
16	30	100	45	6	230	x	x
17	20	100	60	6	230	x	x
18	40	100	60	4	230	x	x

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de um teste inédito, com condições personalizadas de operação da ferramenta robótica, os testes exploratórios se mostraram essenciais não só para atestar seu devido funcionamento, mas também por relevar inconsistências experimentais que poderiam vir a comprometer toda a execução dos testes finais, como, por exemplo, a necessidade de travamento de todos os eixos do mecanismo durante limpeza e também do cálculo exato da posição inicial e final da faixa a ser limpa, de modo a evitar sobreposições.

O próximo passo desse trabalho consiste na execução dos testes finais, o qual será validado quantitativamente por algoritmo computacional, e que deverá durar, aproximadamente, um mês.

#### Agradecimentos

Agradecimentos ao SENAI CIMATEC, Shell, ANP e EMBRAPII pela oportunidade de trabalhar em um projeto disruptivo de inovação para o setor de Óleo e Gás e pelo financiamento da bolsa, a todo time do MCCR pelo comprometimento na realização dos experimentos, à equipe da fábrica de plantas piloto pela confecção do tanque de testes e ao Aratu late Clube por disponibilizar o espaço para cultivo das bioincrustações.

## 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> AMERICAN BUREAU OFF SHIPPING, **Guidance notes on the inspection, maintenance and application of marine coating systems**, Journal of Chemical Information and Modeling, n. January, 2007.
- <sup>2</sup> IBAMA, **Plano Setorial para os Recursos do Mar**: Grupo de Trabalho “Coral Sol” Relatório Final, 2018.
- <sup>3</sup> MOLLAND, Anthony F. (Org.), **The Maritime Engineering Reference Book**: A Guide to Ship Design, Construction and Operation, Elsevier, 2008.
- <sup>4</sup> FLEXICLEAN PATENT, **Cleaning Apparatus and Use of the Same**: WO002015126261A1, 2015.
- <sup>5</sup> PUNDIR, Reena; CHARY, G. H.V.C.; DASTIDAR, M. G., **Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing Aspergillus sp.**, Water Resources and Industry, v. 20, p. 83–92, 2018.