



**PETROBRAS**

**Avaliação Técnica de Esquemas de Pintura Aplicados  
em Visita Única**

CT TME 044/2018  
CENPES/PDISO/TME  
Setembro 2018



**CENPES**

**Centro de Pesquisas e Desenvolvimento  
Leopoldo A. Miguez de Mello**

**CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO LEOPOLDO A. MIGUEZ DE MELLO**  
**P&D EM INTEGRIDADE SUSTENTABILIDADE E OTIMIZAÇÃO**

AT-10092.06.0014

**Avaliação Técnica de Esquemas de Pintura Aplicados em Visita Única**

CT TME 044/2018

**Relator**

Jeferson Leite de Oliveira  
(CENPES/PDISO/TME)

**Revisor**

Joaquim Pereira Quintela  
(CENPES/PDISO/TME)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2. EXPERIMENTAL</b> .....	7
2.1 Preparação dos corpos de prova.....	7
2.1.1. Oxidação dos painéis.....	7
2.1.2. Tratamento de superfície e medição de sais solúveis.....	8
2.2. Produtos e esquemas de pintura.....	9
2.2.1. Descrição dos esquemas de pintura ricos em zinco.....	9
2.2.2. Descrição dos esquemas de pintura isentos de zinco.....	10
2.3. Ensaio de laboratório.....	12
2.4. Ensaio de campo a bordo da PPG-1.....	12
<b>3 RESULTADOS</b> .....	15
3.1. Esquemas de pintura com tintas ricas em zinco.....	15
3.2. Esquemas de pintura com revestimentos isentos de zinco.....	20
3.3. Influência de inibidor de <i>flash rust</i> .....	23
3.4. Ensaio de campo a bordo da plataforma PPG-1.....	27
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	31
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	33

## RESUMO

O conceito de Esquemas de Pintura aplicados em Visita Única pode ser implementado nas atividades de pintura de manutenção na Companhia. Nesse trabalho, alguns esquemas que podem ser aplicados com base nessa filosofia apresentaram bons resultados nos ensaios de laboratório.

Os esquemas de pintura ricos em zinco se apresentam como uma boa alternativa para proteção contra a corrosão mesmo quando aplicados sobre tratamento mecânico, padrão St3 da norma ISO 8501-1. Evidentemente, o desempenho desses revestimentos está condicionado à formulação das tintas. Dentre os testados nesse trabalho, o produto VINCIZINC 600, que possui nanopartículas em sua composição, apresentou os melhores resultados. Além disso, recentemente ele foi o melhor revestimento com zinco testado pelo CENPES em parceria com a UO-RIO/ENGP/EEE, registrado nos documentos SERTEC ST.P- 56.2017.020 e CT TME 023/2018. Os testes foram feitos no laboratório de revestimentos do CENPES e em campo, a bordo da P-56. Em função da agressividade do ambiente marinho, a aplicação de uma demão de acabamento contribuirá significativamente para a melhoria da performance do revestimento anticorrosivo.

Entre os 3 esquemas de pintura monocomponentes isentos de zinco testados, o Rust Grip apresentou o melhor desempenho. Esse produto se destacou pela aderência ao substrato preparado ao padrão St3, baixo avanço de corrosão a partir da incisão e ausência de pontos de corrosão ao final dos testes.

O uso do inibidor de corrosão sobre a superfície metálica tratada antes da aplicação do revestimento é uma boa prática, por conter o flash rust sobre o substrato. Isso tem impacto positivo em esquemas de pintura ricos em zinco, pois evita a formação do óxido de ferro e permite maior contato do pigmento com aço aumentando a eficiência da proteção catódica. Já em revestimentos de mecanismo de proteção por barreira, o uso do inibidor tem papel importante na aderência do esquema, uma vez que retarda o crescimento da camada de óxido pouco aderente sobre o substrato.

Os esquemas de pintura sujeitos ao teste de campo a bordo da PPG-1 estão sendo regularmente monitorados. Até o momento, o comportamento está bastante semelhante às fases iniciais dos ensaios de laboratório.

## 1. INTRODUÇÃO

A seleção de um revestimento anticorrosivo deve sempre levar em consideração aspectos de ordem técnica e econômica. Nesse contexto, objetivos, disponibilidade de recursos e mão-de-obra, fatores relacionados a SMS e produtividade devem ser analisados para a seleção da melhor opção.

O escopo desse trabalho consistiu em avaliar a performance de esquemas de pintura, preferencialmente monocomponentes, aplicados em um único dia, sobre tratamento de superfície mecânico ao padrão St3 da ISO-8501-1.

Essa comunicação técnica é a continuação do trabalho iniciado pela UO-BC/PCM que envolve um procedimento de controle, com planilhas de acompanhamento de qualidade e produtividade que se desdobraram em três etapas: simulação em terra, teste a bordo e piloto. Referente ao item 2 (teste a bordo), o trabalho iniciado pela UO-BC testou na plataforma marítima P-25 em junho de 2017, tinta rica em zinco de um único fabricante (ZINGA) em tubulações e flanges. O tratamento de superfície utilizado foi o tratamento mecânico St3 da ISO 8501-1. Os esquemas foram aplicados em 01 e 02 demãos de 60 µm por demão à trincha e por *spray*. As inspeções realizadas após 04 meses de aplicação constataram já o aparecimento de alguns pontos de oxidação localizados nos alvéolos, frestas, notando-se que a aplicação à trincha foi mais eficaz nesses pontos críticos mesmo com apenas 01 demão.

No trabalho executado pelo CENPES, em função da grande quantidade de tintas ricas em zinco oferecidas pelo mercado, a primeira etapa constou de uma avaliação preliminar de alguns produtos com zinco (CT TME 11/2018), e a segunda etapa, uma avaliação geral de produtos de diversas naturezas químicas.

Os esquemas de pintura estão sendo ensaiados de maneira a atender a proteção anticorrosiva de instalações metálicas *offshore* situadas na região emersa acima da ZVM, sujeitas ao processo de corrosão atmosférica. Referem-se aos pequenos serviços em regiões localizadas, executados preferencialmente por equipes de acesso por corda.

Com o objetivo de avaliar a influência da utilização de inibidores de corrosão tanto no desempenho dos revestimentos quanto na produtividade neste condição trabalho, em alguns esquemas esses produtos serão aplicados após o tratamento mecânico e observadas as possíveis alterações no estado do substrato metálico antes da pintura

Estes ensaios realizados no CENPES complementam o projeto de Pintura de Visita Única, onde o demandante é a gerência PCM da UO-BC. De acordo com os resultados obtidos poderá haver abrangência na utilização das tecnologias aprovadas em outras Unidades Operacionais, e até mesmo no âmbito do sistema PETROBRAS.

## 2. EXPERIMENTAL

O presente trabalho se baseou na avaliação de desempenho de alguns esquemas de diversas naturezas químicas e diferentes mecanismos de proteção contra a corrosão. Foram feitos ensaios de laboratório e de campo para comparar os resultados em condições com variáveis controladas e em condições reais.

### 2.1 Preparação dos corpos de prova

#### 2.1.1. Oxidação dos painéis de aço

Os painéis de aço carbono AISI 1020 com carepa de laminação para a confecção dos corpos de prova foram inicialmente tratados com jateamento abrasivo com granalha de aço angular G-25 até o metal branco, padrão Sa3 da norma ISO 8501-1 e, posteriormente, expostos ao intemperismo natural, até a obtenção do grau de corrosão C da mesma norma. A Figura 1 mostra a disposição dos painéis durante sua exposição na estante de intemperismo.



Figura 1. Painéis de aço, inicialmente jateados ao metal branco, oxidados por intemperismo

### 2.1.2. Tratamento de superfície e medição de sais solúveis

O tratamento da superfície para aplicação dos esquemas de pintura foi feito por meio de ferramenta mecânica rotativa (Figura 2) ao padrão St3 da ISO-8501-1, sendo obtida rugosidade média em torno de 20  $\mu\text{m}$ .



Figura 2. Tratamento mecânico de superfície com ferramenta rotativa até padrão St3 para todos os painéis.

A Figura 3 ilustra a condição inicial do painel de 100 mm x 150 mm x 4 mm com grau de enferrujamento C e a condição final após o tratamento com a ferramenta, resultando na classificação C St3.



Figura 3. Painéis de aço AISI com grau C de enferrujamento (à esquerda) e após tratamento C St3 (à direita)

Após o tratamento das superfícies, os painéis foram lavados e secos. A salinidade na superfície dos painéis foi medida, segundo a norma ISO 8502-6 por meio de célula BRESLE e medidor de condutividade (Figura 4). O valor de condutividade foi de 36  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que correlaciona um teor de sais solúveis de 4,3  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , portanto abaixo do de sais que é de 7  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  (N-9).



Figura 4. Medidor de condutividade Elcometer 138 usado para medição do teor de sais solúveis na superfície

## 2.2. Produtos e esquemas de pintura

As tintas definidas para este trabalho foram aplicadas diretamente sobre os painéis com tratamento de superfície C St3. Os esquemas de pintura escolhidos para os ensaios de laboratório e de campo são relacionados na Tabela 1. Embora nessa tabela só conste o esquema de pintura 1 (Zinga) com embalagem com aplicação em spray, os fornecedores Biolub e Vinci estão em fase de desenvolvimento desse dispositivo para seus respectivos produtos.

Tabela 1. Esquemas de pintura testados

Nº	Esquema de pintura	Fabricante	Mecanismo*	Componentes	Spray
1	Zinga	Zinga	PB + PC	Monocomponente	Sim
2	Zingaprim 1CB	Zinga	PB + PC	Monocomponente	Não
3	Barrier Smart Pack	Jotun	PB + PC	Bicomponente	Não
4	Galvanox	Biolub	PB + PC	Monocomponente	Não
5	Vincizinc 600 Híbrido Mono	Tintas Vinci	PB + PC	Monocomponente	Não
6	Jumbothane	Tintas Jumbo	PB + PC	Monocomponente	Não
7	Rust Grip	Aldan	PB	Monocomponente	Não
8	PoliCoating 8090	Polinova	PB	Bicomponente	Não
9	Nanorustx	NRX	PB	Monocomponente	Não
10	VpCI 386	Cortec	PB	Monocomponente	Não
11	N-2288	Tintas Jumbo	PB	Bicomponente	Não

\*PB - Proteção por barreira PC - Proteção catódica

### 2.2.1. Descrição dos esquemas de pintura ricos em zinco

- 1) **Zinga**, de acordo com seu fabricante é um revestimento que contém 96% de zinco metálico no filme seco. A aplicação é feita de modo a obter de 60 a 90 µm de espessura película seca, por demão. A secagem ao toque ocorre em 20 minutos e a aplicação de segunda demão pode ser feita 1 hora após a secagem ao toque.

2) **Zingaprim 1CB**, de acordo com a Zinga, é um revestimento monocomponente que contém 92% de zinco metálico na película seca. Esse produto foi desenvolvido para ser usado como *primer* em um esquema de pintura, mas também pode ser usado como revestimento único. O pigmento de zinco usado tem pureza de 99,995%. Demanda jateamento abrasivo com grau de limpeza Sa2, hidrojateamento a ultra alta pressão WJ-2 e, para pequenas áreas ou aplicações não-críticas, preparação manual St2. A aplicação é feita de modo a obter de 60 a 100  $\mu\text{m}$  de espessura de película seca. A secagem ao toque ocorre em 20 minutos e a aplicação de segunda demão pode ser feita 1 hora após secagem ao toque.

3) **Barrier Smart Pack**, segundo a Jotun, é um revestimento epóxi rico em zinco, ceramicamente reforçado curado com poliamida. Sua espessura de filme seco varia de 60 a 125  $\mu\text{m}$  e pode ser aplicado sobre aço com tratamento St3. A secagem ao toque é de 20 minutos a 23°C e a secagem para repintura ou pisoteio é de 2,5 horas.

4) **Galvanox**, de acordo com a Biolub Química, é uma tinta epóxi monocomponente com alto teor de zinco. A espessura de película seca é de 70  $\mu\text{m}$  (2 demãos).

5) **Vincizinc 600 Híbrido Mono**, segundo a Tintas Vinci, é um revestimento rico em zinco com propriedades sinérgicas entre produtos inorgânicos, orgânicos e nanopartículas. A espessura de película seca por demão é de  $\pm 75 \mu\text{m}$ , a secagem ao toque é de 30 minutos a 25 °C e o intervalo de repintura é de no mínimo 3 horas, na mesma temperatura.

6) **Jumbothane**, revestimento monocomponente de base poliuretano rico em zinco.

### 2.2.2. Descrição dos esquemas de pintura isentos de zinco

7) **Rust Grip**, segundo a Aldan Tecnologia, é um revestimento poliuretano monocomponente e, como tal, cura quando em contato com a umidade do ar. Possui alta concentração de pigmentos metálicos, o que lhe confere alta resistência mecânica. Pode ser usado como revestimento de camada única ou como primer. Sua espessura de filme seco é de aproximadamente 150  $\mu\text{m}$  e pode ser aplicado sobre aço com tratamento St3 com ferramenta rotativa. O boletim técnico desaconselha o uso de agulheiro, pelo fato desta ferramenta compactar a ferrugem e bloquear o revestimento, impedindo sua ancoragem. A secagem ao toque é de varia de 30 a 60 minutos a 21°C e a aplicação da 2ª demão deve ser feita em até 24 horas.

8) **PoliCoating 8090**, de acordo com a Polinova, é um revestimento epóxi de alta espessura contendo magnetita, indicado para proteção anticorrosiva de equipamentos e estruturas expostas a atmosferas agressivas ou ambientes marítimos. Pode ser aplicado em estruturas marítimas e industriais enferrujadas tratadas mecanicamente. A espessura de película seca por demão varia entre 200 a 300  $\mu\text{m}$ , a secagem ao toque é de 5 horas a 25 °C e o intervalo de repintura é de 6 a 20 horas, na mesma temperatura. Com temperatura de 35 °C o tempo mínimo de secagem ao toque cai para 3 horas e a repintura pode ser feita na janela entre 3 e 18 horas.

9) **Nanorustx**, segundo a NRX, é um revestimento acrílico a base de água que reage para formar ligações cruzadas sobre superfícies de aço oxidadas gerando propriedades anticorrosivas. A espessura de película seca varia entre 60 e 70  $\mu\text{m}$  e o tempo de secagem a temperaturas acima de 23 °C é de 2 horas.

No preparo dos corpos de prova, esse produto foi aplicado em um esquema de 3 demãos. A 1ª demão é referente ao “Nanoprime NRX-P1” (cor marrom). A 2ª demão é referente ao “Second Primer NRX-P2 Nanourea” (cor marrom claro). A 3ª demão (acabamento) é referente ao “NRX-F Finish Coat” (cor azul). Todas as demãos foram aplicadas com 125  $\mu\text{m}$  de espessura úmida. A espessura final de película seca foi de 200  $\mu\text{m}$  e intervalo de pintura entre as demãos foi de 3 horas.

10) **VpCI 386**, de acordo com a Cortec Corporation, é um *primer* acrílico à base de água, que fornece proteção anticorrosiva para aplicações em equipamentos que serão armazenados em locais externos. O complexo de misturas orgânicas atóxicas fornece proteção e compete com a maioria das tintas, *primers* e bases ricas em zinco. A espessura de película seca varia de 38 a 75  $\mu\text{m}$  e o tempo de secagem ao toque é de 30 minutos a 24 °C.

11) **N-2288** é a norma PETROBRAS “Tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio”. Essa tinta, fornecida por Tintas Jumbo (Jumbocoat), foi usada para fins de comparação com os demais esquemas. O produto é fornecido em 2 componentes: um contendo a resina epóxi e a pasta de alumínio (Componente A) e o outro contendo o agente de cura à base de poliamina (Componente B). A espessura de película seca é de 120 a 130  $\mu\text{m}$  e o tempo de secagem para repintura é de 16 horas.

### 2.3. Ensaio de laboratório

O ensaio cíclico foi feito de acordo com a norma ISO 12944-9 que estabelece requisitos de desempenho para esquemas de pintura para estruturas marítimas com ênfase em alta durabilidade, com o propósito de minimizar a frequência de manutenção. O procedimento de envelhecimento acelerado executado em laboratório envolve a exposição do corpo de prova em 3 câmaras ao longo de 7 dias (168 horas) e inclui:

- 72 horas de exposição à condensação ultravioleta alternando períodos de 4 horas de exposição na câmara UV ( $60 \pm 3$ ) °C e 4 horas exposição à condensação a ( $50 \pm 3$ ) °C. A câmara é equipada com lâmpadas UVA-340;
- 72 horas de exposição à névoa salina;
- 24 horas de exposição em baixa temperatura ( $-20 \pm 2$ ) °C.

A Figura 5 ilustra a sequência de exposição que compõe um ciclo e tem a duração de 7 dias. A exposição dos painéis de teste deve ser feita por 25 ciclos ou 4200 horas.

Após o envelhecimento dos revestimentos é feito o cálculo do avanço da corrosão a partir da incisão (risco no revestimento de 50 mm de comprimento e 2 mm de largura, expondo o substrato metálico) e, também, o teste de tração *pull-off* de acordo com a norma ASTM D4541 para avaliação da aderência do revestimento ao substrato mesmo após o envelhecimento acelerado.

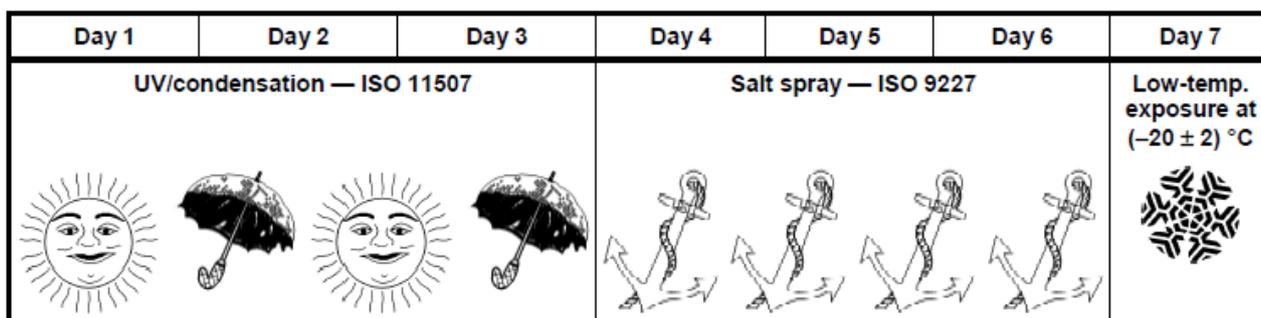


Figura 5. Ilustração com sequência de exposição ao longo de um ciclo de 7 dias. (ISO 12944-9:2018)

### 2.4. Ensaio de campo a bordo da PPG-1

Em paralelo aos ensaios de laboratório, foram feitos ensaios de campo em unidade marítima de produção. Os corpos de prova preparados foram instalados em estante apropriada para sua exposição em área externa da plataforma de Pargo (PPG-1) na Bacia de Campos. Embora esse teste tenha duração mais longa, ele é importante por informar o desempenho real do esquema de pintura no microclima da unidade, com tinta aplicada

sobre superfície metálica tratada de acordo com as melhores práticas. A Figura 6 mostra a planta de localização da estante de corpos de prova instalada no deck BSD na área A3.

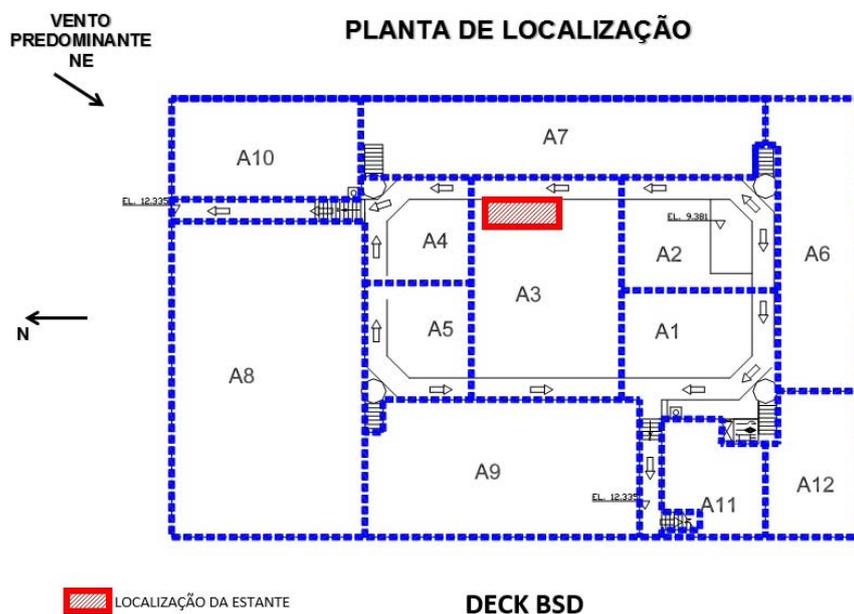


Figura 6. Posicionamento dos corpos de prova a bordo a plataforma de Pargo (PPG-1).

A Figura 7 mostra a fotografia com o posicionamento da estante.



Figura 7. Estante para instalação dos corpos de prova

A Figura 8 mostra a fotografia da estante com os corpos de prova instalados no início do ensaio.



**Figura 8.** Estante com os corpos de prova instalados a bordo da plataforma PPG-1

### 3 RESULTADOS

Os 11 revestimentos testados no presente trabalho foram divididos em 2 grupos: 1) os que têm pigmentos de zinco, cujo mecanismo de proteção anticorrosiva é uma associação de proteção catódica e de barreira e 2) os que não têm zinco e, portanto, o mecanismo de proteção se dá exclusivamente por barreira.

#### 3.1. Esquemas de pintura com tintas ricas em zinco

Os valores de rugosidade, de espessura e a quantidade de demão dos revestimentos ricos em zinco aplicados sobre os painéis estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Rugosidade, espessura e número de demãos para os revestimentos com proteção catódica**

Nº	Produto	Fabricante	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	Demãos
1	Zinga	Zinga	21	59	1
2	Zingaprim 1CB	Zinga	8	72	1
3	Barrier Smart Pack	Jotun	19	120	1
4	Galvanox	Biolub	20	107	1
5	Vincizinc 600	Tintas Vinci	20	125	1
6	Jumbothane	Tintas Jumbo	15	121	1

Para avaliar a aderência dos esquemas de pintura ao substrato metálico, foi feito o teste de tração *pull-off* (ASTM D4541). A Figura 9 apresenta os resultados dos 6 esquemas tanto com revestimento íntegro (inicial), quanto com revestimento envelhecido (final). Além disso, é mostrado também o tipo de falha no revestimento, se coesiva (B) ou adesiva (A/B).

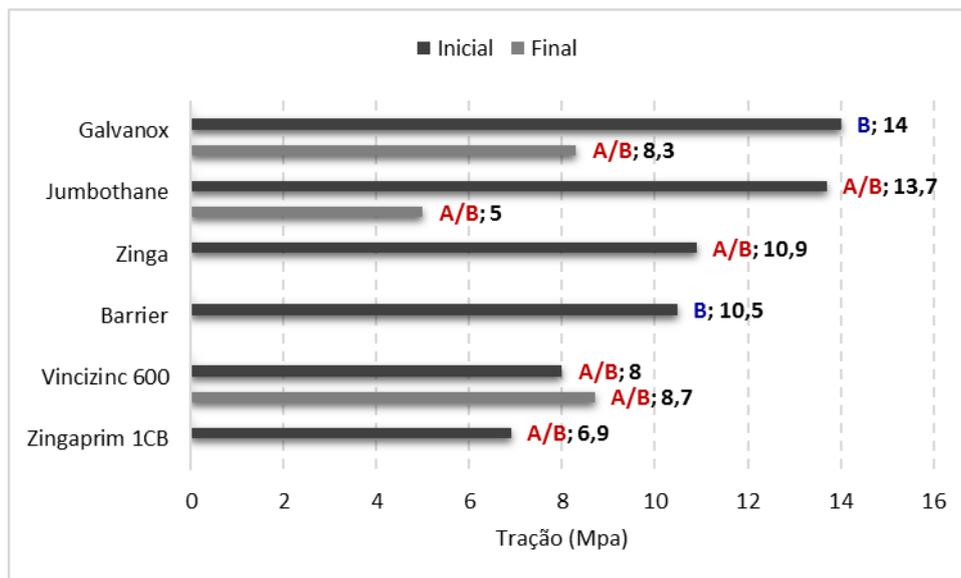


Figura 9. Resultados de *pull-off* inicial e final para os 6 revestimentos ricos em zinco

Tintas ricas em zinco aplicadas sobre superfícies tratadas com jateamento abrasivo, quando submetidas ao ensaio de aderência à tração, normalmente apresentam falhas de natureza coesiva tipo B. Como esse trabalho usou painéis previamente oxidados, foi constatado nos revestimentos Vincizinc 600, Jumbothane, Zinga e Zingaprim 1CB o tipo de falha A/B (adesiva) para corpos de prova em condição inicial (antes do ensaio). Os produtos Barrier Smart Pack e Galvanox apresentaram inicialmente falha tipo B (coesiva), ou seja, sem expor o substrato. Após 12 ciclos de ensaio, Zinga, Zingaprim e Barrier Smart Pack, em função do elevado estado de degradação dos revestimentos, não apresentaram condições para realização do teste de aderência à tração (*pull off test*). Por isso, não possuem valores de tração no gráfico de barras da Figura 9. O esquema Jumbothane apresentou queda acentuada no valor de tração ao final do ensaio, ao passo que o Vincizinc 600 se destacou por obter valor bem próximo ao do inicial. Vale ressaltar que a manutenção das propriedades após os ensaios é mais importante do que uma elevada aderência inicial.

O avanço da corrosão a partir da incisão para os revestimentos que agem pelo de proteção catódica é mostrado na Tabela 3. Nesse quesito, destaque para os revestimentos Vincizinc 600 e Jumbothane apresentaram valores de avanço de corrosão a partir da incisão próximos de zero, evidenciando as excelentes propriedades de ambos.

Tabela 3. Avanço de corrosão a partir da incisão após 12 ciclos ISO 12944-9 para revestimentos com zinco

Nº	Produto	Avanço de corrosão (mm)
1	Zinga	-
2	Zingaprim 1CB	-
3	Barrier Smart Pack	-
4	Galvanox	-
5	Vincizinc 600	0,2
6	Jumbothane	0,2

As fotografias da Figura 10 mostram o início e a evolução da corrosão a partir da incisão bem como a degradação dos esquemas ao longo de 12 ciclos de ensaio.

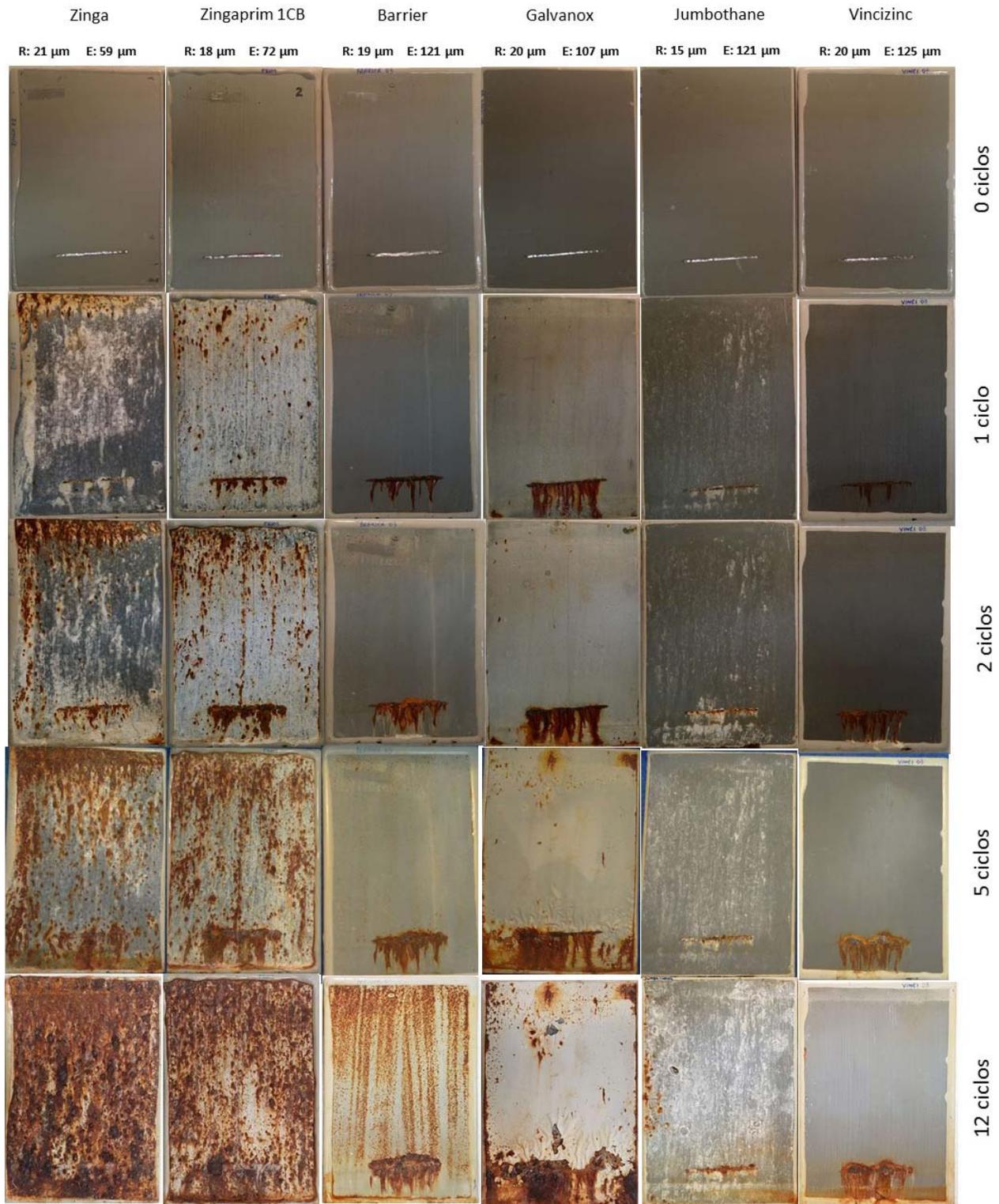
Os revestimentos Zinga e Zingaprim 1CB, apresentaram a maior velocidade de corrosão por ciclo, quando comparados aos demais. A corrosão branca, representada pelo hidróxido de zinco ( $Zn(OH)_2$ ), se formou logo na primeira semana (1º ciclo). O mecanismo de proteção catódica (oxidação do zinco ao invés do aço) se mostrou eficiente, porém com durabilidade inferior aos outros revestimentos ricos em zinco desse trabalho. Nos ciclos seguintes foi observado o aumento gradual de corrosão vermelha nas superfícies dos corpos de prova. Esse resultado já tinha sido obtido em trabalhos feitos no CENPES com o produto Zinga. O fato desses revestimentos terem sido aplicados com espessuras inferiores a dos outros produtos testados, pode justificar o prematuro (1 ciclo) aparecimento de corrosão branca e posteriormente de corrosão vermelha, entretanto não acreditamos que ao final de 12 ciclos, uma aplicação na mesma faixa de espessura dos demais acarretasse desempenhos semelhantes.

O revestimento Galvanox tem bom comportamento quando íntegro. Pontos de corrosão vermelha são observados com maior intensidade após 5 ciclos. A partir da incisão, a corrosão não só se propaga como, também, o meio corrosivo gerado provoca o enrugamento o revestimento que, em um momento seguinte, se torna quebradiço. Muito provavelmente, isso se deve ao tipo de veículo (resina) usado como base da formulação do produto. Por causa da delaminação ao redor da incisão, não foi possível determinar o avanço de corrosão.

O revestimento Barrier Smart Pack mostrou desempenho intermediário dentre os produtos testados. Com espessura média de 121  $\mu m$ , o revestimento apresentou propagação gradual de corrosão vermelha em pontos de menor espessura de película.

O revestimento Jumbothane apresentou desempenho compatível com o de uma boa tinta rica em zinco convencional. A predominância de corrosão branca ao final de 12 ciclos e o pequeno avanço da corrosão a partir da incisão comprovam a qualidade da formulação do produto em termos de teor de zinco metálico na película seca.

Dentre as tintas ricas em zinco testadas, consideramos que o Vincizinc 600 apresentou o melhor desempenho. Após 12 ciclos, somente apresentou sinais corrosão branca, nenhum ponto de corrosão vermelha e pequeno avanço de corrosão (0,2 mm) a partir do entalhe. A constituição do revestimento apresentada pelo fabricante sugere tratar-se do que chamamos de tinta rica em zinco de nova geração. Esse conceito é baseado principalmente pela presença de nanopartículas na formulação, aumentando a condutividade do filme e, por conseguinte, melhorando as propriedades eletroquímicas do revestimento. Isso foi comprovado no teste de laboratório conduzido neste trabalho. Outra característica desse tipo de tinta, também relacionada à condutividade, é o aumento da coesão da película seca. As boas tintas ricas em zinco convencionais apresentam elevado teor de zinco metálico na película seca e baixa coesão, causada justamente pela quantidade de zinco necessária para promover proteção catódica. Com o aumento da condutividade do filme boas propriedades eletroquímicas podem ser obtidas com menor quantidade de zinco na formulação. Esse conjunto de fatores permite solucionar o antigo problema do limite de espessura de película seca (75 – 100  $\mu\text{m}$ ) das tintas ricas em zinco convencionais. As de nova geração podem ser aplicadas em elevadas espessuras, ao redor de 300  $\mu\text{m}$ , sem apresentar trincas (*mud cracking*) e outras anomalias.



**Figura 10. Fotografias dos 6 corpos de prova com revestimento rico em zinco ao longo do ensaio cíclico ISO 12944-9**

### 3.2. Esquemas de pintura com revestimentos isentos de zinco

Os valores de espessura seca e suas respectivas variações (desvio padrão) para cada um dos revestimentos aplicados nos corpos de prova estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Rugosidade, espessura e número de demãos para os revestimentos com proteção por barreira

Nº	Produto	Fabricante	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	Demãos
1	N-2288	Tintas Jumbo	15	205	1
2	PoliCoating 8090	Polinova	21	209	2
3	Nanorustx	NRX Systems	16	208	3
4	VpCI 386	Cortec	24	48	1
5	Rust Grip	Aldan	12	92	2

Tal qual para os revestimentos ricos em zinco, para avaliar a aderência dos esquemas de pintura ao substrato metálico, foi feito o teste de tração *pull-off* (ASTM D4541). A Figura 11 apresenta os resultados dos 5 revestimentos íntegros (inicial) e envelhecidos (final).

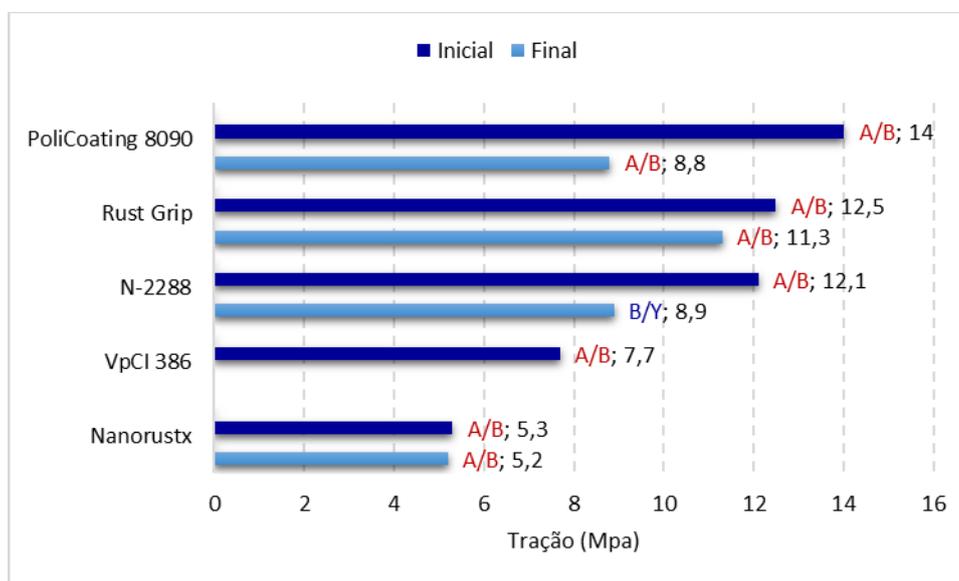


Figura 11. Resultados de *pull-off* inicial e final para os 5 revestimentos de mecanismo de proteção por barreira

Em condições iniciais, todos os esquemas apresentaram falha A/B (adesiva) devido ao tratamento de superfície (St3). No entanto, os produtos PoliCoating 8090, Rust Grip e N-2288 se destacaram com valores de tração acima de 11 MPa. Ao fim de 12 ciclos, os corpos de prova dos esquemas VpCI 386 e PoliCoating 8090 não estavam em condições para teste de *pull-off*. VpCI 386 apresentou corrosão generalizada, enquanto o

PoliCoating 8090 apresentou empolamento (Figura 12) e foi confirmada corrosão nos pontos de empolamento após a remoção do revestimento. Dentre os outros três, o esquema N-2288 apresentou uma pequena redução no valor de tração e os esquemas Nanorustx e Rust Grip mantiveram seus valores.



**Figura 12. Empolamento generalizado observado no esquema de pintura PoliCoating 8090**

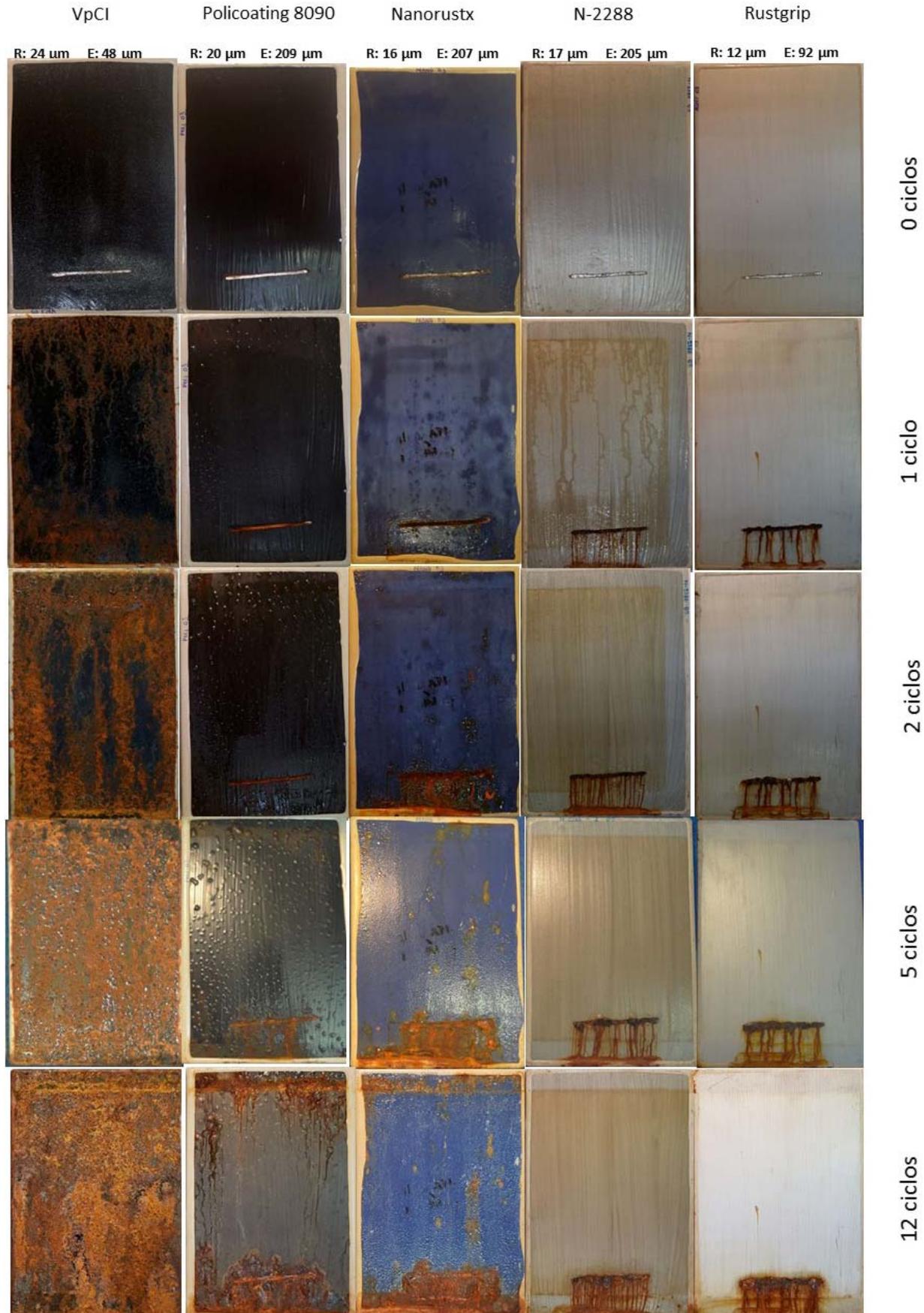
O avanço da corrosão a partir da incisão para os revestimentos que agem somente pelo mecanismo de barreira é mostrado na Tabela 5. Muito embora esse tipo de propriedade não tenha o mesmo significado nesse tipo de revestimento que nos revestimentos ricos em zinco, vale destacar os resultados obtidos pelos produtos Rust Grip e a tinta N-2288.

**Tabela 5. Avanço de corrosão a partir da incisão após 12 ciclos ISO 12944-9 para revestimentos sem zinco**

Nº	Produto	Avanço de corrosão (mm)
1	N-2288	0,5
2	PoliCoating 8090	
3	Nanorustx	
4	VpCl 386	-
5	Rust Grip	0,4

A evolução da degradação dos 5 revestimentos que agem pelo mecanismo de proteção por barreira testados durante o ensaio cíclico ISO 12944-9 é mostrado na Figura 13.

**Figura 13. Fotografias dos 5 corpos de prova com revestimento de proteção por barreira ao longo do ensaio cíclico ISO 12944-9**



Dentre os revestimentos isentos de zinco, vale destacar o desempenho do produto Rust Grip, não se observando corrosão vermelha e pequeno avanço de corrosão a partir da incisão ao final de 12 ciclos. Em se tratando de um revestimento que age somente pelo mecanismo de barreira, consideramos um excelente resultado.

### 3.3. Influência de inibidor de *flash rust*

Os inibidores de *flash rust*, também conhecidos como protetivos temporários são produtos que, quando aplicados sobre a superfície metálica tratada, retardam a ocorrência da corrosão inicial que ocorre por conta da umidade, permitindo a pintura subsequente sem a necessidade de repasses (retrabalho). Esses inibidores, na sua maioria, possuem produtos químicos voláteis, o que justifica a sua ação temporária. A duração do efeito do protetivo varia com as condições ambientes, tais como vento, temperatura do ar, temperatura da superfície a ser pintada, umidade relativa do ar e maresia (sais solúveis). No entanto, os fabricantes estimam entre 24 e 72 horas em média de prevenção. Testes realizados no CENPES, em estante de intemperismo, comprovam a durabilidade de 96 horas, sem *flash rust* em superfície metálica com tratamento Sa3. Os fabricantes especificam que, aplicado o inibidor, após a secagem da superfície a pintura pode ser iniciada.

O protetivo escolhido para esse trabalho foi Holdtight 102, da fabricante Holdtight. Foram selecionados 3 esquemas de pintura com zinco para a aplicação desse produto: Barrier Smart Pack, Galvanox e Vincizinc 600. O inibidor foi preparado na concentração de 2% em volume.

A Figura 14 mostra a comparação entre o esquema Barrier Smart Pack com e sem inibidor. No esquema sem inibidor, pontos de corrosão vermelha surgiram sem que houvesse primeiro a ocorrência de corrosão branca, enquanto no esquema com inibidor a corrosão branca pôde ser observada e a corrosão vermelha começou a ocorrer bem depois. Além disso, o avanço da corrosão a partir da incisão foi menos pronunciado que nos corpos de prova sem inibidor.

A Figura 15 mostra a comparação entre o esquema Galvanox com e sem inibidor. Onde não foi usado o inibidor, o avanço da corrosão a partir da incisão foi mais pronunciado se comparado ao caso com inibidor. Foi observada a sequência de branqueamento, enrijecimento e quebra do Galvanox ao longo do teste. Isso se deu de forma mais acentuada no esquema sem inibidor.

A Figura 16 mostra a comparação entre o esquema Vincizinc 600 com e sem inibidor. Não foi observada diferença aparente entre o revestimento Vincizinc 600 com inibidor e sem inibidor. A medição do avanço da corrosão a partir da incisão foi feita e os valores foram nulos.

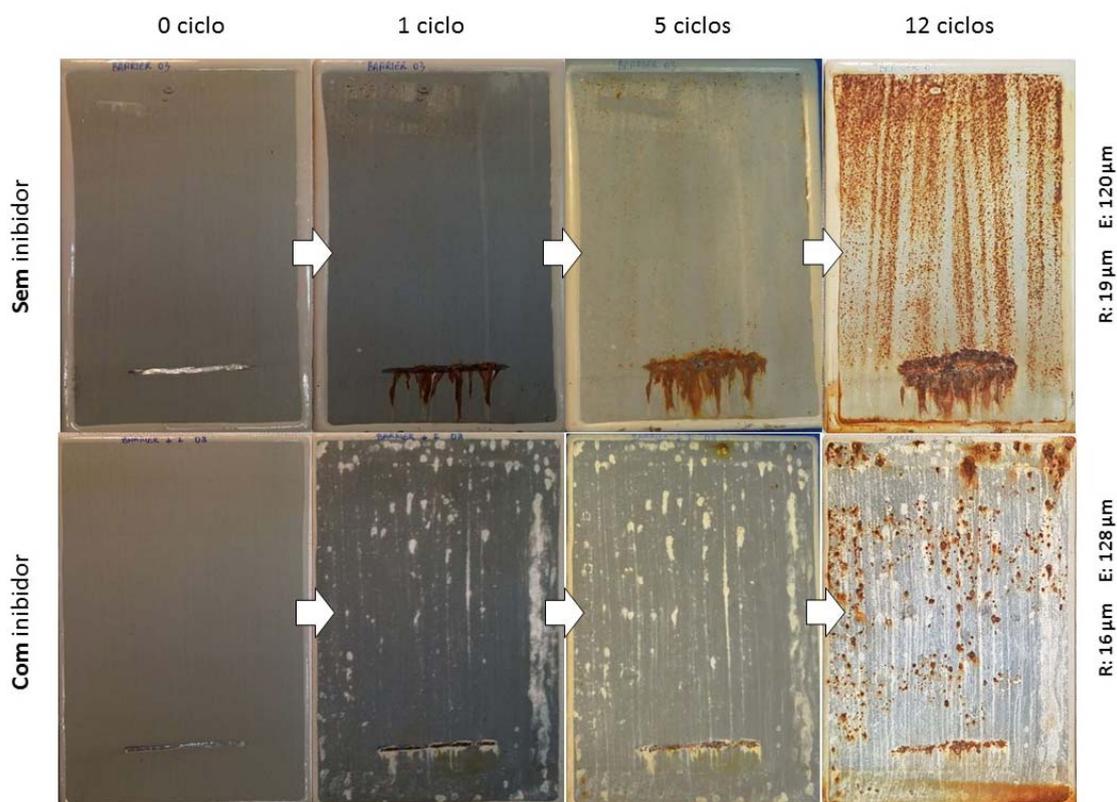
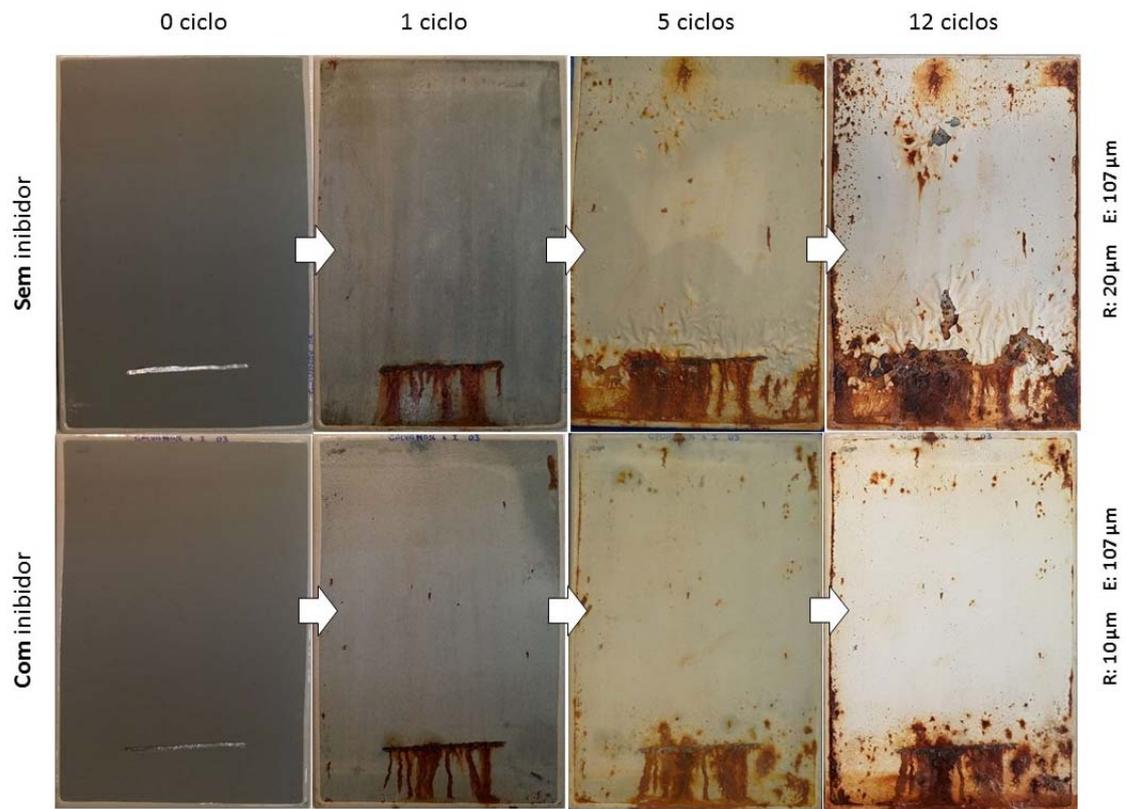
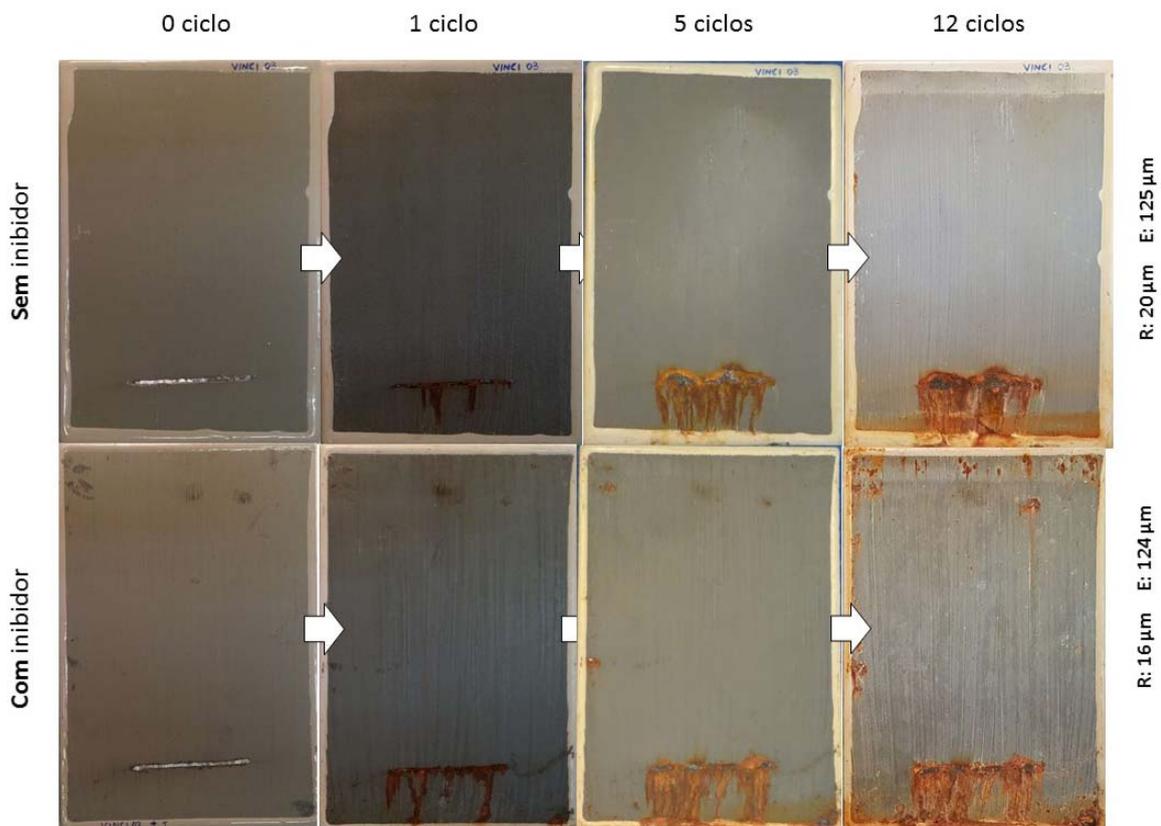


Figura 14. Esquema Barrier Smart Pack com e sem inibidor após 12 ciclos de ISO 12944-9



**Figura 15. Esquema Galvanox com e sem inibidor após 12 ciclos de ISO 12944-9**



**Figura 16. Esquema Vincizinc 600 com e sem inibidor após 12 ciclos de ISO 12944-9**

Entre os revestimentos anticorrosivos que agem pelo mecanismo de barreira, o esquema de tinta epóxi pigmentada com alumínio (N-2288) foi escolhido para os testes comparativos com uso do inibidor, porém não foi observada diferença aparente durante o período de exposição aos ciclos.

### 3.4. Ensaio de campo a bordo da plataforma PPG-1

Os testes de campo a bordo da plataforma de Pargo (PPG-1) ainda estão em andamento, de maneira que os resultados aqui apresentados são parciais. A avaliação foi feita por inspeção visual e registro fotográfico do estado dos esquemas de pintura até aos 60 dias de exposição em ambiente *offshore*.

Os esquemas de pintura com zinco têm os dados de rugosidade do painel, espessura seca e número de demãos informados na Tabela 6.

**Tabela 6. Rugosidade, espessura e número de demãos para os revestimentos com proteção catódica e barreira**

Nº	Produto	Fabricante	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	Demãos
1	Zinga	Zinga	16	73	1
2	Zingaprim 1CB	Zinga	12	124	1
3	Barrier Smart Pack	Jotun	31	156	1
4	Galvanox	Biolub	38	100	1
5	Vincizinc 600	Tintas Vinci	38	121	1
6	Jumbothane	Tintas Jumbo	18	99	1

O registro fotográfico dos corpos de prova com zinco é mostrado na Figura 17.

Após 60 dias de exposição em alto mar, pode ser observado que os esquemas de pintura Zinga, Zingaprim, N-2288, Galvanox e Vincizinc 600 já apresentam, em alguma extensão, corrosão branca. Também são observados pontos de corrosão vermelha generalizada no corpo de prova com o revestimento Barrier Smart Pack, bem similar ao que foi observado no ensaio acelerado em laboratório. Outro ponto a se destacar neste esquema de pintura é seu comportamento quando aplicado sobre inibidor. Até o momento foi observado que o corpo de prova cujo painel foi lavado com o protetivo apresenta maior integridade de película (Figura 18).

Os esquemas de pintura isentos de zinco têm os dados de rugosidade do painel, espessura de película seca e número de demãos de tinta relacionados na Tabela 7.

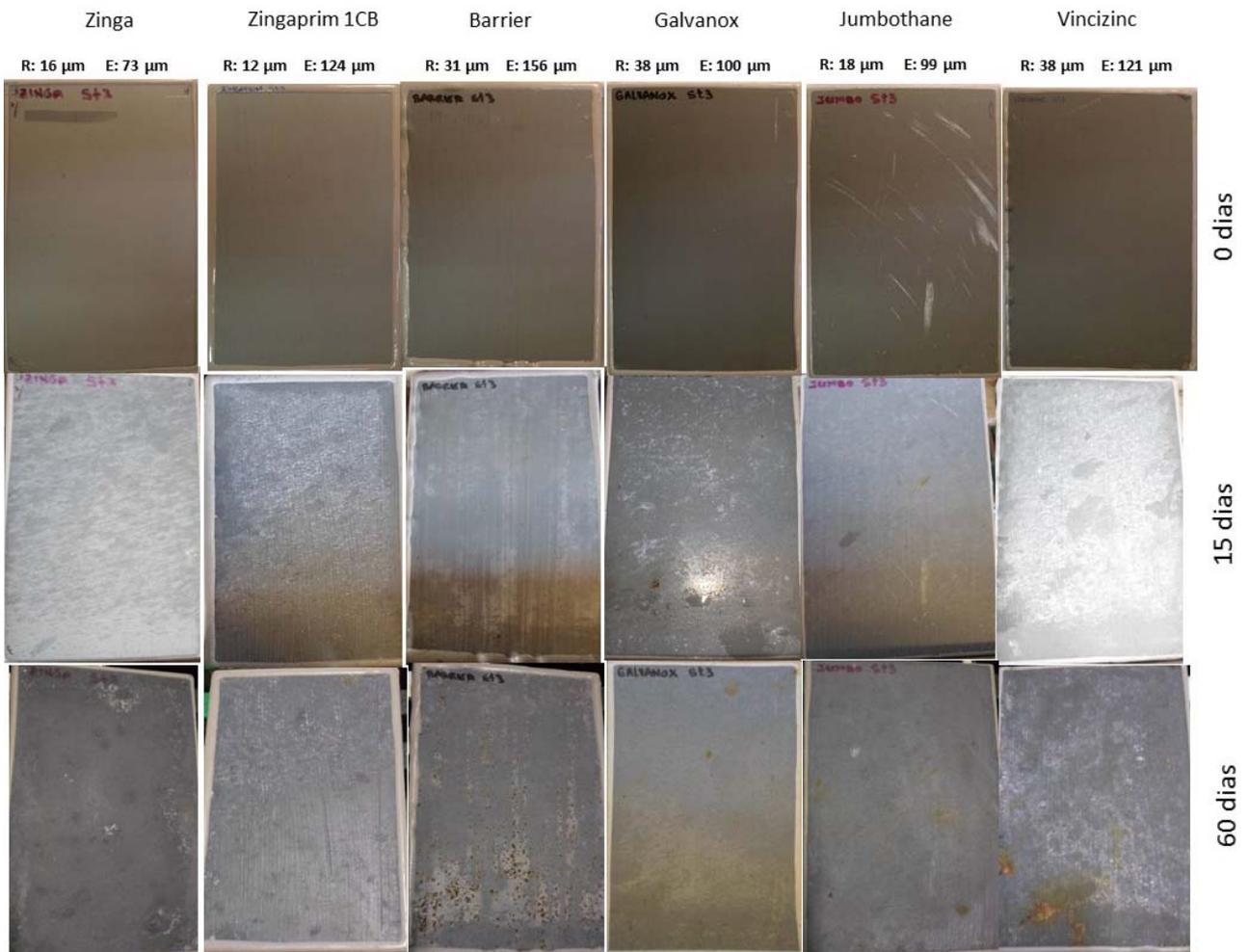


Figura 17. Corpos de prova com esquemas de pintura com zinco na PPG-1

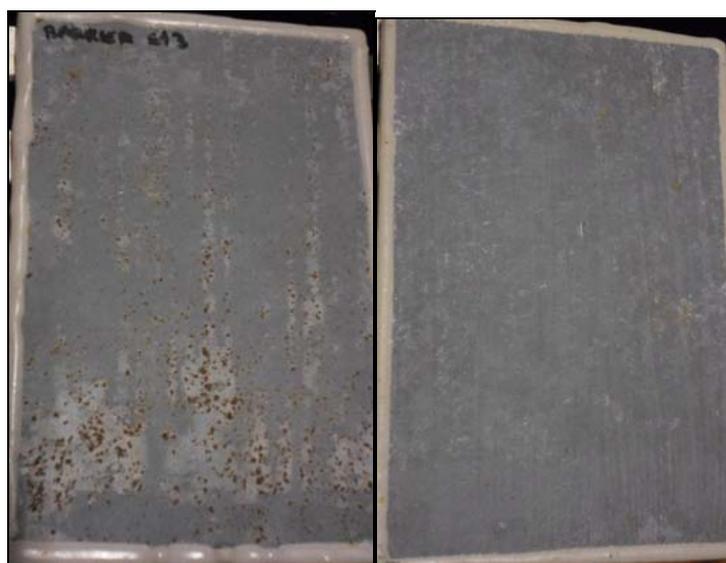


Figura 18. Esquema de pintura Barrier Smart Pack sem e com inibidor, respectivamente, após 60 dias em exposição na PPG-1

Tabela 7. Rugosidade, espessura e número de demãos para os revestimentos com proteção por barreira

Nº	Produto	Fabricante	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	Demãos
1	N-2288	Tintas Jumbo	22	86	1
2	PoliCoating 8090	Polinova	24	210	2
3	Nanorustx	NRX Systems	19	161	3
4	VpCI 386	Cortec	24	44	1
5	Rust Grip	Aldan	16	68	2

O registro fotográfico dos corpos de prova sem zinco é mostrado na Figura .

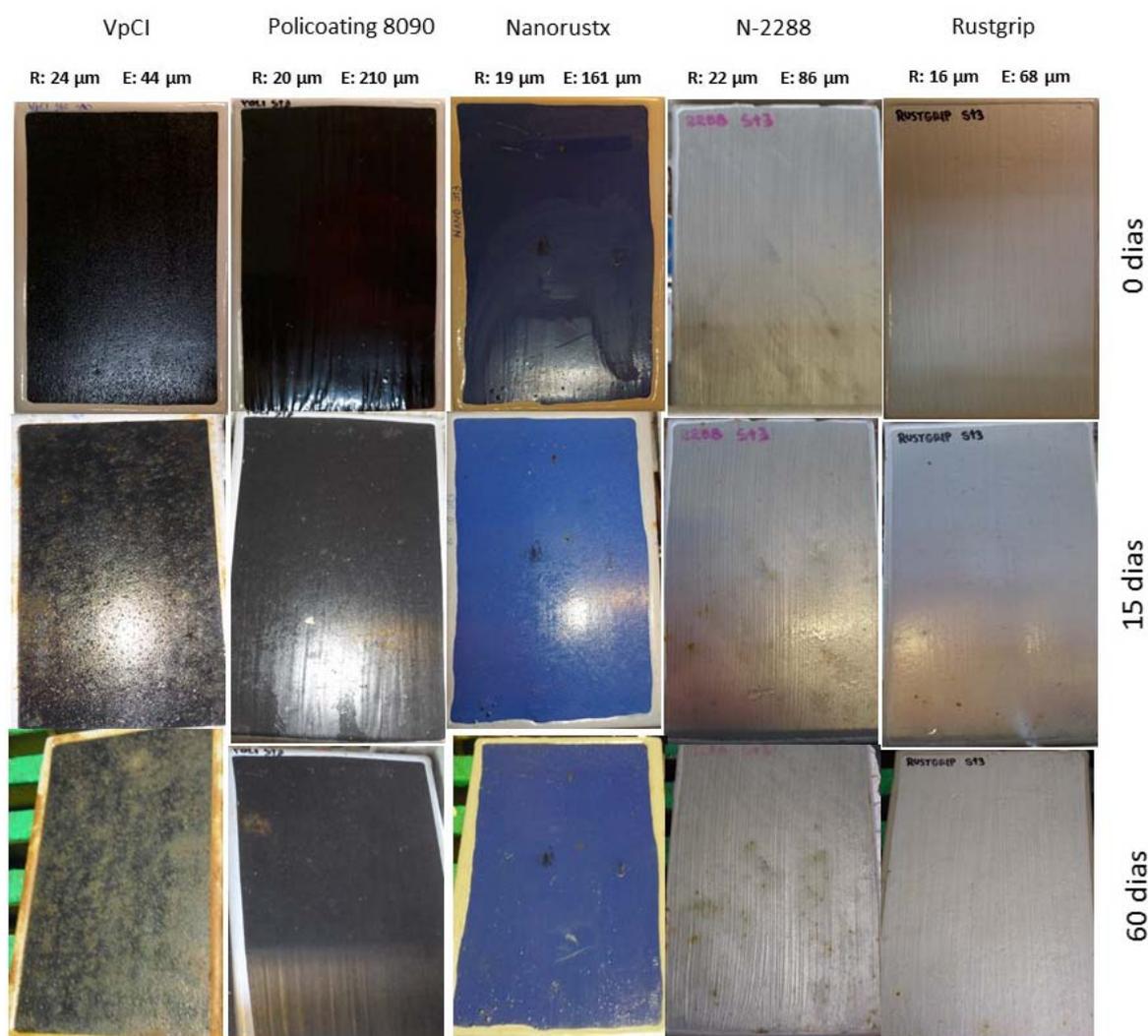


Figura 19. Corpos de prova com esquemas de pintura sem zinco na PPG-1

O comportamento do revestimento VpCI 386 após 60 dias de exposição a bordo da PPG-1 segue a mesma tendência do ensaio acelerado de laboratório, com corrosão

generalizada na superfície do corpo de prova. Com relação aos demais corpos de prova é necessário aguardar um período maior para fazer a avaliação.

#### 4. CONCLUSÕES

O conceito de Esquemas de Pintura aplicados em Visita Única pode ser implementado nas atividades de pintura de manutenção na Companhia. Nesse trabalho, alguns esquemas que podem ser aplicados com base nessa filosofia apresentaram bons resultados nos ensaios de laboratório.

Os esquemas de pintura ricos em zinco se apresentam como uma boa alternativa para proteção contra a corrosão mesmo quando aplicados sobre tratamento mecânico, padrão St3 da norma ISO 8501-1. Evidentemente, o desempenho desses revestimentos está condicionado à formulação. Dentre os testados nesse trabalho, o produto VINCIZINC 600, que possui nanopartículas em sua composição, apresentou os melhores resultados. Além disso, recentemente ele foi o melhor revestimento com zinco testado pelo CENPES em parceria com a UO-RIO/ENGP/EEE, registrado nos documentos SERTEC ST.P-56.2017.020 e CT TME 023/2018. Os testes foram feitos no laboratório de revestimentos do CENPES e em campo, a bordo da P-56. Em função da agressividade do ambiente marinho, a aplicação de uma demão de acabamento contribuirá significativamente para a melhoria da performance do revestimento anticorrosivo.

Entre os 3 esquemas de pintura monocomponentes isentos de zinco testados, o Rust Grip apresentou o melhor desempenho. Esse produto se destacou pela aderência ao substrato St3, baixo avanço de corrosão a partir da incisão e ausência de pontos de corrosão ao final dos testes.

O uso do inibidor de corrosão sobre a superfície metálica tratada antes da aplicação do revestimento é uma boa prática, por conter o *flash rust* sobre o substrato. Isso tem impacto positivo em esquemas de pintura ricos em zinco, pois evita a formação do óxido de ferro, pouco condutor e permite o contato do pigmento com aço aumentando a eficiência da proteção catódica. Já em revestimentos de mecanismo de proteção por barreira, o uso do inibidor tem papel importante na aderência do esquema, uma vez que retarda o crescimento da camada de óxido pouco aderente sobre o substrato.

Os esquemas de pintura sujeitos ao teste de campo a bordo da PPG-1 estão sendo regularmente monitorados. Até o momento, o comportamento está bastante semelhante às fases iniciais dos ensaios de laboratório.

## 5. REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501-1 2007**: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness – Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings. Geneva, 2007. Licensee=Petrobras 9998856: Acesso em 15 mar. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501-1 2007**: Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Tests for the assessment of surface cleanliness -- Part 6: Extraction of soluble contaminants for analysis -- The Bresle method - Geneva, 2007. Licensee=Petrobras 9998856: Acesso em 15 jul. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12944-9:2018** Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures - Geneva, 2018. Licensee=Petrobras 9998856: Acesso em 8 ago. 2018.

PETROBRAS. **Tinta de Fundo Epóxi Pigmentada com Alumínio**. Rio de Janeiro, Dez 2017. Revisão E (PETROBRAS N-2288)

PETROBRAS. **Tinta de Fundo Epóxi Rica em Zinco**. Rio de Janeiro, Mar 2017. Revisão E (PETROBRAS N-1277)

PETROBRAS. **Tratamento de Superfícies de Aço com Jato Abrasivo e Hidrojateamento**. Rio de Janeiro, Set 2013 – revalidada em 2014. (PETROBRAS N-9)

PETROBRAS. **CENPES**. Boletim LRO 004-18 UO-BC Avaliação técnica de esquemas de pintura em visita única

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D4541-09**: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion Testers. West

Conshohoken, PA 19428-2959 USA, 2007. Licensee Petrobras 9998856: Acesso em: 24 jan. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2247-15**: Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings in 100% Relative Humidity. West Conshohoken, PA 19428-2959 USA, 2007. Licensee Petrobras 9998856:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8094-83**: material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina: REFERÊNCIA E ELABORAÇÃO. Rio de Janeiro, 1983.