DESEMPENHO DE ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS EM SUPERFÍCIES DE AÇO SECA E ÚMIDA

Fernando de L. Fragata⁽¹⁾ (*), Maria J. Saad⁽²⁾ e Cristina C. Amorim⁽³⁾

Artigo submetido em Maio de 2005 e aceite em Abril de 2006

RESUMO

Grandes avanços tecnológicos têm sido observados no campo da pintura anticorrosiva. O desenvolvimento de tintas tolerantes a superfícies úmidas tem se mostrado um tema de bastante interesse, em nível mundial, principalmente em função da introdução de métodos de limpeza de superfícies que utilizam água para tal finalidade (jateamento abrasivo úmido, hidrojateamento a alta pressão, etc.) e do fato de que nem sempre as condições climáticas (umidade relativa e temperatura) são favoráveis para a aplicação das tintas consideradas convencionais. Neste trabalho, estudou-se o desempenho à corrosão de três esquemas de pintura, os quais foram aplicados em superfícies úmidas e secas. Os resultados obtidos mostraram que os três esquemas de pintura possuem boas características de aplicação nas duas condições superficiais citadas. Entretanto, o desempenho à corrosão, principalmente em superfícies úmidas, varia de forma significativa em função do método de preparação de superfície e da tecnologia de formulação e de fabricação das tintas, ou seja, de um fabricante para outro. Logo, os resultados obtidos não podem ser generalizados.

Palavras Chave: Desempenho Anticorrosivo, Superfícies Seca e Úmida, Esquemas de Pintura, Preparação de Superfícies

PERFORMANCE OF PAINTING SYSTEMS APPLIED ON WET AND DRY SURFACES

ABSTRACT

The development of wet surface tolerant paints has been increased due to the use the water in some surface preparation methods (wet abrasive blasting and ultrahigh-pressure water jetting) and also in regions where a high humidity condition is unsuitable for the application of conventional paints. In this paper, the behavior of three painting systems applied on dry and wet surfaces, prepared by abrasive blasting and ultrahigh-pressure water jetting, are shown. Good application characteristics were obtained for the three painting systems in both surfaces. Respecting anticorrosion protection, it was observed significant differences among the different painting systems, specially when applied on wet surfaces.

Key Words: Paint System, Wet and Dry Surfaces, Anticorrosive Behavior, Surface Preparation

1. INTRODUÇÃO

É amplamente sabido que as condições climáticas (ex.: umidade relativa, temperatura, etc.), durante a preparação de superfície e a aplicação das tintas, podem afetar, de forma substancial, o desempenho à corrosão dos revestimentos por pintura, pelo menos daqueles considerados convencionais. Por isso, é bastante comum encontrar, nas especificações técnicas dos serviços de pintura, requisitos dentro dos quais constam os valores limites para a umidade relativa do ar e para as temperaturas ambiente e do substrato metálico. Neste sentido, muitas especificações de esquemas de pintura elaborados com tintas convencionais estabelecem, por exemplo, que a aplicação das tintas só deve ser feita com a umidade relativa do ar abaixo de 85% e somente se a temperatura do substrato estiver 3 °C acima do ponto de orvalho. Isto visa, basicamente, evitar a condensação de umidade na superfície, por ocasião da aplicação das mesmas.

Ocorre que, em muitas regiões do Brasil, nem sempre, ao longo do ano, é possível obter estas condições de trabalho. Ultimamente, grandes avanços tecnológicos, no campo da pintura anticorrosiva, têm sido observados, principalmente no desenvolvimento de tintas tolerantes a superfícies úmidas [1]. Por se tratar de um tema de grande relevância para o setor elétrico brasileiro, CEPEL e FURNAS — Centrais Elétricas realizaram, de forma conjunta, um estudo para avaliar o desempenho à corrosão de esquemas de pintura, especificados com tintas tolerantes a superfícies úmidas, provenientes de três fabricantes diferentes, aplicados sobre superfícies de aço carbono seca e úmida, previamente limpas por dois métodos bastante conhecidos: jateamento abrasivo e hidrojateamento a hiperalta pressão.

No presente trabalho apresentam-se a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo, os resultados obtidos nos ensaios acelerados e não acelerados de corrosão e as considerações técnicas a respeito do desempenho dos

⁽¹⁾)Engenheiro Químico, Pesquisador do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Engenheira Civil do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM.T) de FURNAS Centrais Elétricas S/A, e-mail: msaad@furnas.com.br

⁽³⁾ Química Industrial, Fundação Padre Leonel Franca, e-mail: camorim@cepel.br

^(*) A quem a correspondência deve ser dirigida: e-mail: fragata@cepel.br

esquemas de pintura aplicados sobre superfícies seca e úmida. Com base nos resultados de desempenho obtidos foi possível observar que existem esquemas de pintura tolerantes a superfícies úmidas, sem prejuízo às suas características de proteção anticorrosiva. Contudo, estes conceitos não podem ser generalizados, uma vez que, de um fabricante para outro, observa-se uma diferença substancial no desempenho dos esquemas de pintura, em função da tecnologia utilizada na formulação e fabricação das tintas.

2. METODOLOGIA

2.1. Natureza e características das tintas

Três importantes fabricantes de tintas anticorrosivas no Brasil participaram e colaboraram na realização do estudo. Para tal, cada um deles, codificados como **A**, **B** e **C**, forneceu uma amostra de tinta de alto teor de sólidos, a base de resina epóxi, tolerante a superfícies úmidas.

De acordo com as informações fornecidas, a tinta do fabricante **B** possui tolerância a superfícies úmidas pelo fato de conter, em sua composição, substâncias capazes de reagirem quimicamente com a água, como por exemplo, as cetiminas. Neste caso, há a formação de aminas e cetonas como produtos da reação. Já no caso da tinta do fabricante **C**, o mecanismo de atuação é diferente e está baseado na utilização de solventes miscíveis com água na composição da mesma (ex.: glicóis). Neste caso, tem-se, teoricamente, a formação de uma mistura azeotrópica, facilitando, portanto, o deslocamento da água da superfície através do processo de evaporação. Com respeito à tinta do fabricante **A**, a informação obtida foi de que o mecanismo de atuação é diferente dos dois citados anteriormente.

2.2. Preparação dos corpos-de-prova

Por se tratar de uma das etapas mais importantes do estudo, a preparação dos corpos-de-prova (chapa de aço + preparação de superfície + revestimento) foi realizada de forma bastante cuidadosa e obedecendo, rigorosamente, uma metodologia previamente estabelecida. Todas as atividades referentes a esta etapa de trabalho estão descritas nos itens a seguir.

2.2.1. Substrato metálico

Os corpos-de-prova foram confeccionados a partir de chapas de aço ao carbono AISI 1020, com grau A de corrosão inicial (superfície com carepa de laminação intacta), de acordo com a classificação da norma ISO 8501 [2] e possuíam dimensões de 150mm x 100mm e espessura de 3mm.

As referidas chapas de aço foram submetidas a um processo de jateamento abrasivo, por meio de granalha de aço, para a remoção completa da carepa de laminação. O grau de limpeza obtido, de acordo com a norma ISO 8501 [2], foi o Sa 2 ¹/₂ (metal quase branco). Em seguida, foram expostas na estação de corrosão atmosférica do CEPEL (Ilha do Fundão – RJ) para que sofressem um processo uniforme de corrosão, o qual foi realizado durante o período de, aproximadamente, quatro meses. Após este período, as chapas apresentavam-se com grau de corrosão ou de intemperismo C, de acordo com a classificação da referida norma.

A atmosfera onde as chapas foram enferrujadas possui categoria de corrosividade C4, em relação ao aço carbono, de acordo com a norma ISO 9223 [3]. Na Tabela 1, apresentam-se outros dados técnicos a respeito da mesma.

 Tabela 1

 Dados técnicos a respeito da atmosfera onde as chapas de aço foram enferrujadas [4]

Temperatura média (°C)	Umidade relativa média (%)	SO ₂ (mg.m ⁻² .d ⁻¹)	CI- mg.m ⁻² .d ⁻¹	Velocidade de corrosão (μm/ano)		
21.5	80	40 - 50	15 20	Fe	Zn	Cu
21,0	21,5	40 - 50	15 - 20	50 - 70	1 - 2	4 - 8

2.2.2. Métodos de preparação de superfície e graus de limpeza

Após o enferrujamento, nas condições citadas no item anterior, as chapas foram submetidas, após etapa prévia de limpeza com solventes, a dois diferentes métodos de preparação de superfície, para posterior aplicação dos esquemas da pintura. A descrição dos métodos, bem como os graus de limpeza obtidos estão apresentados a seguir.

Preparação por meio de jateamento abrasivo (Sa)

O jateamento abrasivo foi realizado utilizando-se granalha de aço angular e o grau de limpeza obtido, de acordo com a classificação das normas ISO 8501 [2], foi o Sa 2 ½

(metal quase branco). O perfil de rugosidade da superfície ficou situado em torno de 50 μm .

Preparação por meio de hidrojateamento a hiperaltapressão (WJ)

A preparação de superfície por meio de hidrojateamento a hiperalta pressão foi realizada na REDUC (Refinaria Duque de Caxias — Rio de Janeiro), por uma empresa prestadora de serviços para a PETROBRAS. A pressão utilizada foi de, aproximadamente, 276 MPa (40.000 psi). As características técnicas da água utilizada no processo estão mostradas na Tabela 2. O grau de limpeza final da superfície ficou entre WJ2 e WJ3 da norma SSPC-SP12/NACE No5 [5]. Além do grau de limpeza visual, após o hidrojateamento

Tabela 2
Características técnicas da água utilizada no processo de limpeza por meio de hidrojateamento a hiperaltapressão

рН	pH Condutividade (μS.cm ⁻¹)		Teor de sulfato (SO ₄ =) (ppm)	
6,8	32	6,1	2,9	

também foi avaliado o grau de limpeza da superfície, no que diz respeito aos contaminantes "invisíveis", iões cloreto (Cl $^-$) e sulfato (SO $_4$ $^-$), bem como a condutividade do extrato aquoso. Os resultados destas avaliações estão mostrados na Tabela 3.

Após o hidrojateamento e secagem da superfície, como já era esperado, observou-se a formação de "flash rust" leve (oxidação instantânea). Antes da aplicação dos esquemas de pintura, esta oxidação foi removida por meio de escovamento manual.

Tabela 3

Resultados da análise do extrato aquoso das chapas de aço, antes e após a execução dos métodos de limpeza

Método de limpeza	Método de limpeza pH do extrato aquoso		Teor de cloreto (Cl ⁻) (μg.cm ⁻²) ^(**)	Teor de sulfato (SO ₄ =) (μg.cm ⁻²) (***)	
Jateamento abrasivo	4,9	21	4	2	
Hidrojateamento	4,7	17	2	2	
Sem limpeza (*)	3,9	62	5	10	

- (*) Refere-se à análise de chapas de aço, logo após o processo de enferrujamento, que não foram submetidas a qualquer processo de limpeza.
- (**) Determinado através do método de colorimetria [6].
- (***) Determinado através do método de turbidimetria [7].

2.2.3. Condições da superfície para a aplicação das tintas

Para cada um dos métodos de limpeza mencionados anteriormente, as tintas foram aplicadas sobre superfícies seca (S) e úmida (U). Neste último caso, foi realizado um estudo prévio para se determinar a melhor forma de umedecer a superfície e que resultasse na menor retenção de água na mesma. Foram estudados três processos, a saber:

- X: imersão em água destilada e escorrimento normal;
- Y: imersão em água destilada e secagem com papel toalha e,
- Z: umedecimento com auxílio de uma trincha.

Os três procedimentos foram executados em superfícies limpas por meio de jateamento abrasivo, grau de limpeza Sa 2 1 / $_{2}$ (metal quase branco). Após cada um dos processos de umedecimento, foi calculada, por diferença de massa, a quantidade de água retida na superfície. Os resultados obtidos estão mostrados no gráfico da Figura 1. Como pode ser observado, o processo $\bf Z$ foi o que resultou no menor teor de umidade retida na superfície. Além disso, era o de mais fácil execução. Por estas razões, o umedecimento por meio de trincha foi o processo selecionado para o estudo.



Fig. 1 – Quantidade de água retida na superfície das chapas jateadas, após a execução dos processos de umedecimento.

2.2.4. Descrição dos esquemas de pintura/tintas

Na Tabela 4 estão descritos os esquemas de pintura propostos pelos respectivos fabricantes.

Para caracterizar a natureza química das resinas dos mesmos, realizou-se a análise destes produtos pela técnica de espectroscopia na região do infravermelho. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Tinta A: o espectro da resina do componente A apresentou bandas características de resina epóxi, com banda adicional em 1738 cm⁻¹. O espectro da resina do componente B apresentou bandas de amido-amina.
- Tinta B: o espectro da resina do componente A apresentou bandas características de resina epóxi, com banda adicional em 1725 cm⁻¹. O espectro da resina do componente B apresentou bandas características de amina.
- Tinta C: o espectro da resina do componente A apresentou bandas características de resina epóxi, com banda adicional em 1738 cm⁻¹. O espectro da resina do componente B apresentou bandas características de aduto epóxi-amina.

2.2.5. Condições de aplicação e de cura das tintas

Todas as demãos de tintas foram aplicadas por meio de trincha e, rigorosamente, em conformidade com as instruções fornecidas pelos respectivos fabricantes. No caso da pintura sobre superfícies úmidas, é importante ressaltar que o umedecimento também foi executado na superfície da primeira demão de tinta, antes da aplicação da segunda.

O processo de secagem e cura das tintas foi coerente com as condições da superfície, seca ou úmida. Assim, os revestimentos dos corpos-de-prova, preparados com a aplicação das tintas sobre superfícies secas, tiveram a sua cura em laboratório, com condições controladas de temperatura (23 ± 2) °C e umidade relativa do ar (60 ± 5) %. Já os esquemas de pintura aplicados sobre superfícies úmidas foram curados em condições de umidade relativa elevada (> 95%), dentro de uma câmara fechada contendo uma lâmina de água no fundo, com temperatura média, em seu interior, de 22 °C. Os corpos-de-prova permaneceram nestas condições durante um período de, aproximadamente, dois meses, até que os ensaios de corrosão fossem iniciados.

Com relação à aplicabilidade das tintas sobre as superfícies seca e úmida, foram feitas as seguintes observações:

- A tinta do fabricante **B**, dentre as três, foi a que apresentou as melhores características de aplicação, tanto nas superfícies secas como nas úmidas.
- A tinta do fabricante **A** mostrou melhor nivelamento sobre a superfície seca do que na úmida.
- Quanto à tinta do fabricante **C**, na aplicação da segunda demão em superfície úmida, esta mostrou características inferiores de nivelamento, em relação à aplicação sobre superfície seca.

2.2.6. Algumas características especiais dos corpos-de-prova

Para os ensaios de desempenho à corrosão, com exceção dos de imersão, foram utilizados corpos-de-prova com e sem incisão. No caso daqueles com incisão, esta foi feita por meio de um buril, na parte inferior dos mesmos, com uma inclinação de aproximadamente 45°, em relação à menor dimensão, distante cerca de 2 cm das bordas laterais e com comprimento de 6 cm. A incisão no revestimento foi feita até atingir o substrato metálico e a largura, nesta região, foi de 0,3 mm. Todos os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de corrosão tiveram suas bordas revestidas por meio de tinta epóxi de alta espessura, a fim de evitar o aparecimento prematuro de corrosão nestas regiões críticas.

Quanto à identificação dos esquemas de pintura/corpos-de-prova utilizados nos ensaios acelerados e não acelerados de corrosão, esta foi feita levando em consideração os seguintes fatores:

- Fabricante da tinta: (A, B, C)
- Método de limpeza da superfície: [Sa (jateamento abrasivo), WJ (hidrojateamento)]
 - Condição da superfície: [S (seca), U (úmida)].

Portanto, o código B.WJ.S significa que a tinta do fabricante B foi aplicada sobre uma superfície seca e previamente preparada por meio de hidrojateamento. No caso, por exemplo, do código C.Sa.U este indica que a tinta do fabricante C foi aplicada sobre uma superfície úmida, previamente preparada por meio de jateamento abrasivo.

Tabela 4Descrição básica dos esquemas de pintura

Fabricante/tinta	Descrição	Espessura por demão (μm) ^(*)	
A	Duas demãos de tinta epóxi HS ^(**)	100 a 200	
В	Duas demãos de tinta epóxi 100% sólidos	120 a 150	
С	Duas demãos de tinta epóxi HS(**)	150 a 200	

^(*) Recomendação dos fabricantes

^(**) HS = alto teor de sólidos ("high solids")

2.2.7. Inspeção visual prévia dos revestimentos

Após a preparação, todos os corpos-de-prova foram analisados com o objetivo de se documentar o aspecto superficial dos revestimentos, principalmente no que diz respeito aos fatores capazes de interferirem em avaliações futuras, quanto ao desempenho à corrosão. Neste sentido, os revestimentos por pintura foram analisados, principalmente, com relação à presença de empolamentos e fissuras. É importante ressaltar que, no caso dos esquemas de pintura aplicados sobre superfícies úmidas, a inspeção dos corpos-de-prova foi realizada durante e após a cura dos revestimentos sob condições de alta umidade. Assim sendo, as observações feitas foram as seguintes:

- Independente do método de limpeza (Sa ou WJ), todos os três esquemas de pintura (A, B e C), aplicados sobre as superfícies secas, apresentavam os revestimentos sem qualquer tipo de anormalidade. O mesmo foi observado para os esquemas A e C aplicados em superfícies úmidas.
- No caso do esquema **B**, observou-se que, após a cura sob condições de alta umidade, independente do método de preparação de superfície, o revestimento apresentava-se com "blushing". De acordo com as informações do respectivo fabricante, isto é normal e decorre da reação química de alguns componentes do agente de cura com a umidade do meio. Entretanto, este fenômeno, pelo menos visualmente, não foi detectado nos outros dois esquemas de pintura.

2.3. Ensaios realizados, parâmetros de avaliação e resultados

Para a avaliação de desempenho dos três esquemas de pintura (A, B e C), aplicados sobre superfícies seca e úmida, foram realizados ensaios acelerados (em laboratório) e não acelerados de corrosão, estes últimos em duas estações de ensaio de corrosão atmosférica, uma urbana, com a pulverização de solução de NaCl 1% duas vezes por semana, e outra marinha. A seguir, apresentam-se a descrição dos parâmetros de avaliação de desempenho dos revestimentos por pintura e dos ensaios de corrosão realizados, bem como os resultados obtidos.

2.3.1. Parâmetros de avaliação do desempenho dos esquemas de pintura

A avaliação do desempenho dos esquemas de pintura foi feita tomando-se como base os seguintes parâmetros:

- Empolamento: a avaliação foi realizada de acordo com a norma ISO 4628/2 [8]. Quanto ao tamanho, de acordo com a referida norma, as bolhas são classificadas em uma escala de 1 a 5. Quanto maior o valor, maior é o diâmetro das bolhas. No que diz respeito à freqüência, elas são classificadas em uma escala de 0 a 5. O valor 0 (zero) indica ausência de bolhas, enquanto que o 5 (cinco) indica grande quantidade delas.
- Corrosão: a avaliação foi realizada de acordo com a norma ISO 4628/3 [9]. Em função do percentual de área com corrosão, a avaliação é feita em uma escala que varia de Ri 0 (0%) a Ri 5 (40/50%).

- Fendimento: a avaliação foi realizada de acordo com a norma ISO 4628/4 [10]. De acordo com o estabelecido na mesma, na avaliação de fissuras, nos revestimentos por pintura, leva-se em consideração a profundidade das mesmas (tipos a, b e c), o tamanho e o tipo de orientação.
- Avanço de corrosão/degradação, sob o revestimento, na incisão: o avanço de corrosão na incisão (em mm) foi determinado a partir da seguinte fórmula:

Avanço de corrosão = (d - 0.3) / 2, onde:

- d = valor médio (mm) correspondente à largura total do avanço de corrosão sob o revestimento por pintura.
- Medição de aderência: A medição de aderência foi realizada, antes e após a conclusão dos ensaios de corrosão, por dois métodos diferentes, em corpos-de-prova representativos de cada esquema de pintura, os quais estão descritos a seguir:
- a) NBR 11003 A (corte em X) [11]: a verificação do grau de aderência é feita em função do destacamento do revestimento ao longo dos cortes, que pode variar desde X_0 até X_4 e na interseção dos mesmos, neste caso podendo variar desde Y_0 até Y_4 . Em ambas as avaliações, quanto menor o índice melhor é a aderência do revestimento por pintura.
- b) ASTM D 4541 (método de tração) [12]: a verificação do grau de aderência por este método consiste, basicamente, em determinar a resistência do revestimento a um esforço de tração. Para tal, carretéis de alumínio são fixados à superfície por meio de adesivo apropriado. Após a cura do mesmo, submete-se o corpo-de-prova a um esforço de tração em um equipamento apropriado para esta finalidade (ver nota). Os resultados são expressos em MPa. Além dos valores, também se avaliou a natureza da falha de aderência, como descrito a seguir:

Nota: É importante destacar que no ensaio de aderência pelo método de tração, a espessura das chapas era de 3 mm e o equipamento utilizado foi o tipo manual, ELCOMETER® Mod. 106. Como é sabido, e comprovado através do estudo recente realizado de forma conjunta por vários laboratórios no Brasil, cuios resultados foram recentemente publicados no Latincorr 2006, verificou-se que a espessura da chapa de aço e o tipo de equipamento utilizado na execução do ensaio têm influência substancial nos valores obtidos. Os valores obtidos com o equipamento mencionado, utilizando-se chapas de 3 mm de espessura, em geral, são inferiores aos obtidos com outros equipamentos (ex.: PATTI®). Mesmo nestes últimos, os valores também podem variar muito em função da espessura da chapa utilizada. Ao longo da realização do trabalho estes dois fatores (espessura da chapa e equipamento) foram constantes e, portanto, os resultados podem ser utilizados para fins comparativos.

2.3.2. Ensaio cíclico de corrosão

Este ensaio foi realizado em laboratório expondo-se os corpos-de-prova às seguintes condições de agressividade:

- 6 dias de exposição à radiação ultravioleta (UV) e condensação de umidade, de acordo com a norma ASTM G154 [13], utilizando-se o ciclo de 8 h de radiação UV–B e 4h de condensação de umidade.
 - 1 dia a baixa temperatura ($\approx -10^{\circ}$ C).
- 6 dias de exposição em câmara de névoa salina contínua, segundo a norma NBR 8094.
 - 1 dia a baixa temperatura (≅ 10° C).

Como pode ser observado, cada ciclo possuía duração de 336 horas. O tempo total de exposição dos corpos-de-prova foi de, aproximadamente, 3100 horas.

Na Tabela 5 apresentam-se os resultados da inspeção visual, realizada nos revestimentos, após a conclusão do ensaio. Na Figura 2 mostra-se o gráfico correspondente ao avanço de corrosão, sob o revestimento por pintura, na região da incisão. Na Tabela 6 apresentam-se os resultados dos ensaios de aderência correspondente às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio).

 Tabela 5

 Resultados da inspeção visual realizada nos esquemas de pintura, após a conclusão do ensaio cíclico de corrosão

Fabricante	Esquema	Corrosão (ISO 4628/3) [9]	Empolamento (ISO 4628/2) [8]	Fendimento (ISO 4628/4) [10]	Avanço de corrosão na incisão (mm)
	A.Sa.S	Ri 0	0	0	8,5
Α	A.Sa.U	Ri 0	0	0	10,0
A	A.WJ.S	Ri 0	0	0	6,0
	A.WJ.U	Ri 0	0	0	6,0
	B.Sa.S	Ri 0	0	0	17,5
В	B.Sa.U	Ri 0	0	0	18,0
В	B.WJ.S	Ri 0	0	0	9,0
	B.WJ.U	Ri 0	0	0	9,0 c/corr.filiforme
	C.Sa.S	Ri 0	0	1(S 3/4)a, s/ orient. pref.	20,5 c/ corr.filiforme
С	C.Sa.U	Ri 0	0	1(S 5)a, s/ orient. pref.	20,5 c/ corr.filiforme
C	C.WJ.S	Ri 0	0	1(S 4)a, s/ orient. pref.	11,5 c/ corr.filiforme
	C.WJ.U	Ri 0	0	0	12,0 c/ corr.filiforme

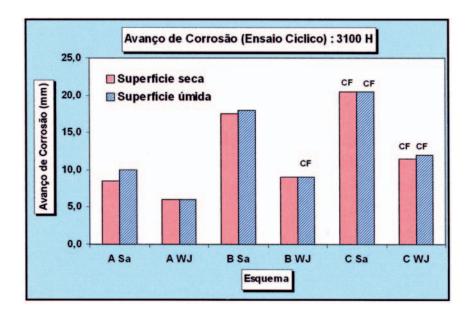


Fig. 2 – Avanço de corrosão, sob o revestimento, na região da incisão, referente aos esquemas de pintura aplicados sobre superfícies seca e úmida (CF: corrosão filiforme).

Tabela 6
Resultados dos ensaios de aderência referentes às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio cíclico de corrosão)

		Condição Inicial		Condição Final		
Esquema	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha
A.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	6,0	В
A.Sa.U	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	7,0	В
A.WJ.S	X ₀ Y ₀	5,5	В	X ₀ Y ₀	5,0	В
A.WJ.U	X ₀ Y ₀	5,0	В	X ₀ Y ₀	6,0	В
B.Sa.S	X ₀ Y ₀	8,5	В	X ₀ Y ₀	6,0	В
B.Sa.U	X ₀ Y ₁	4,5	A/B	X ₀ Y ₀	4,5	В
B.WJ.S	X ₀ Y ₀	7,5	В	X ₀ Y ₀	7,0	В
B.WJ.U	X ₀ Y ₀	6,5	80% B 20% A/B	X ₀ Y ₀	4,5	В
C.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	C/Y	X ₀ Y ₀	3,5	C/Y
C.Sa.U	X ₀ Y ₀	8,0	40% Y/Z 30% C/Y 30% A/B	X ₀ Y ₀	2,5	C/Y
C.WJ.S	X ₀ Y ₀	8,0	C/Y	X ₀ Y ₀	5,0	C/Y
C.WJ.U	X ₀ Y ₀	7,8	C/Y	X ₀ Y ₀	5,0	C/Y

2.3.3. Imersão em água destilada

Este ensaio foi realizado com base na norma ASTM D 870 [14], na temperatura de 40° C. O tempo total de imersão dos corpos-de-prova foi de 2930 horas. Na Tabela 7,

apresentam-se os resultados da inspeção visual realizada nos revestimentos por pintura ao longo das 2930 horas de ensaio. Na Tabela 8, estão apresentados os resultados dos ensaios de aderência referentes às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio).

 Tabela 7

 Resultados da inspeção visual realizada nos esquemas de pintura, ao longo do ensaio de imersão em água destilada

Esquema	Alteração visual após:
A.Sa.S	2930 horas: não houve
A.Sa.U	2930 horas: não houve
A.WJ.S	2930 horas: não houve
A.WJ.U	2930 horas: não houve
B.Sa.S	2088 horas: formação de bolhas 5(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 5(S2) e pontos de corrosão sob as mesmas
B.Sa.U	408 horas: formação de bolhas 3(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 4(S3) e pontos de corrosão sob as mesmas
B.WJ.S	2088 horas: formação de bolhas entre 2(S2) e 2(S3)
	2930 horas: formação de bolhas entre 2(S2) e 2(S3) e pontos de corrosão sob as mesmas
B.WJ.U	696 horas: formação de bolhas 2(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 3/4(S3) e pontos de corrosão sob as mesmas
C.Sa.S	696 horas: formação de bolhas 3(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 5(S4) e pontos de corrosão sob as mesmas
C.Sa.U	48 horas: formação de bolhas 2(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 5(S5) e pontos de corrosão sob as mesmas
C.WJ.S	408 horas: formação de bolhas 2(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 5(S4) e pontos de corrosão sob as mesmas
C.WJ.U	360 horas: formação de bolhas entre 4(S1) e 4(S2)
	2930 horas: formação de bolhas 5(S4) e pontos de corrosão sob as mesmas

Tabela 8

Resultados dos ensaios de aderência referentes às condições inicial e final (após o ensaio de imersão em água destilada)

_		Condição Inicial		Condição Final			
Esquema	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	
A.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	6,5	В	
A.Sa.U	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	6,5	В	
A.WJ.S	X ₀ Y ₀	5,5	В	X ₀ Y ₀	3,8	В	
A.WJ.U	X ₀ Y ₀	5,0	В	X ₀ Y ₁	5,8	5% A/B	
						95% B	
B.Sa.S	X ₀ Y ₀	8,5	В	X ₀ Y ₀	3,5	A/B	
B.Sa.U	X ₀ Y ₁	4,5	A/B	X ₀ Y ₂	3,0	A/B	
B.WJ.S	X ₀ Y ₀	7,5	В	X ₀ Y ₀	6,0	A/B	
B.WJ.U	X ₀ Y ₀	6,5	80% B	X ₀ Y ₀	6,0	A/B	
			20% A/B				
C.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	C/Y	X ₀ Y ₀	3,5	A/B	
			40% Y/Z				
C.Sa.U	$X_0 Y_0$	8,0	30% A/B	X ₀ Y ₁	2,5	A/B	
			30% C/Y				
C.WJ.S	X ₀ Y ₀	8,0	C/Y	X ₀ Y ₀	3,0	A/B	
C.WJ.U	X ₀ Y ₀	7,8	C/Y	X ₀ Y ₀	4,5	A/B	

2.3.4. Exposição em atmosfera urbana, com pulverização de solução de cloreto de sódio

Este ensaio foi realizado expondo-se os corpos-deprova ao intemperismo natural, na estação de corrosão atmosférica do CEPEL, mencionada no item 2.3. Para acelerar o processo de corrosão, os mesmos foram pulverizados com uma solução de cloreto de sódio (NaCl, 1%) duas vezes por semana. O tempo total de exposição dos corpos-de-prova às condições citadas foi de 21 meses. Na Tabela 9 apresentam-se os resultados da inspeção visual, realizada nos revestimentos, após o período de 21 meses de exposição dos corpos-de-prova nas condições mencionadas anteriormente. Na Figura 3 mostra-se o gráfico correspondente ao avanço de corrosão, sob o revestimento por pintura, na região da incisão. Na Tabela 10 apresentam-se os resultados dos ensaios de aderência, correspondentes às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio).

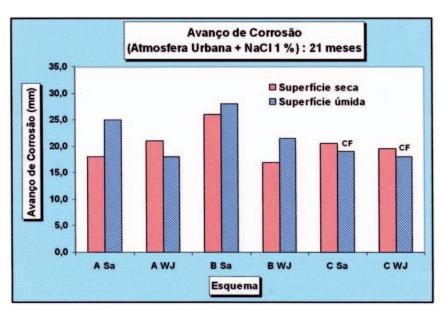


Fig. 3 – Avanço de corrosão, sob o revestimento, na região da incisão, referente aos esquemas de pintura aplicados sobre superfícies seca e úmida (CF: corrosão filiforme).

Tabela 9Resultados da inspeção visual realizada nos esquemas de pintura, após a exposição na atmosfera urbana com a pulverização de solução de NaCl 1%

Fabricante	Esquema	Corrosão (ISO 4628/3) [9]	Empolamento (ISO 4628/2) [8]	Fendimento (ISO 4628/4) [10]	Avanço de corrosão na incisão (mm)
	A.Sa.S	Ri 0	0	0	18,0
А	A.Sa.U	Ri 0	0	0	25,0
A	A.WJ.S	Ri 0	0	0	21,0
	A.WJ.U	Ri 0	0	0	18,0
	B.Sa.S	Ri 0	0	0	26,0
В	B.Sa.U	Ri 0	0	0	28,0
	B.WJ.S	Ri 0	0	0	17,0
	B.WJ.U	Ri 0	0	0	21,5
	C.Sa.S	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	20,5
С	C.Sa.U	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	19,0 c/ corr. filiforme
	C.WJ.S	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	19,5
	C.WJ.U	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	18,0 c/ corr. filiforme

Tabela 10

Resultados dos ensaios de aderência, referentes às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio)

	Condição Inicial		Condição Final			
NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	
X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	6,0	В	
X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	4,0	В	
X ₀ Y ₀	5,5	В	X ₀ Y ₀	7,0	В	
X ₀ Y ₀	5,0	В	X ₀ Y ₀	7,0	В	
X ₀ Y ₀	8,5	В	X ₀ Y ₀	6,0	В	
X ₀ Y ₁	4,5	A/B	X ₀ Y ₂	4,0	В	
X ₀ Y ₀	7,5	В	X ₀ Y ₀	4,0	В	
X ₀ Y ₀	6,5	80% B	X ₀ Y ₀	5,0	В	
		20% A/B				
X ₀ Y ₀	7,0	C/Y	X ₀ Y ₀	3,0	В	
		40% Y/Z				
X ₀ Y ₀	8,0	30% A/B	X ₀ Y ₀	3,0	В	
		30% C/Y				
X ₀ Y ₀	8,0	C/Y	X ₀ Y ₀	3,5	В	
X ₀ Y ₀	7,8	C/Y	X ₀ Y ₀	4,0	В	
	[11] X ₀ Y ₀	$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	NBR 11003 A [11] ASTM D 4541 (MPa) [12] Natureza da falha X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ 5,5 B X ₀ Y ₀ 5,0 B X ₀ Y ₀ 8,5 B X ₀ Y ₁ 4,5 A/B X ₀ Y ₀ 7,5 B X ₀ Y ₀ 6,5 80% B 20% A/B 20% A/B X ₀ Y ₀ 7,0 C/Y X ₀ Y ₀ 8,0 30% A/B 30% C/Y X ₀ Y ₀ 8,0 C/Y	NBR 11003 A [11] ASTM D 4541 (MPa) [12] Natureza da falha NBR 11003 A [11] X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 5,5 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 5,0 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 8,5 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₁ 4,5 A/B X ₀ Y ₂ X ₀ Y ₀ 7,5 B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 6,5 80% B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 7,0 C/Y X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 8,0 30% A/B X ₀ Y ₀ X ₀ Y ₀ 8,0 C/Y X ₀ Y ₀	NBR 11003 A [11] ASTM D 4541 (MPa) [12] Natureza da falha NBR 11003 A [11] ASTM D 4541 (MPa) [12] X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ 6,0 X ₀ Y ₀ 7,0 B X ₀ Y ₀ 4,0 X ₀ Y ₀ 5,5 B X ₀ Y ₀ 7,0 X ₀ Y ₀ 5,0 B X ₀ Y ₀ 7,0 X ₀ Y ₀ 8,5 B X ₀ Y ₀ 6,0 X ₀ Y ₀ 8,5 B X ₀ Y ₀ 6,0 X ₀ Y ₁ 4,5 A/B X ₀ Y ₂ 4,0 X ₀ Y ₀ 7,5 B X ₀ Y ₀ 4,0 X ₀ Y ₀ 6,5 80% B X ₀ Y ₀ 5,0 X ₀ Y ₀ 7,0 C/Y X ₀ Y ₀ 3,0 X ₀ Y ₀ 8,0 30% A/B X ₀ Y ₀ 3,0 X ₀ Y ₀ 8,0 C/Y X ₀ Y ₀ 3,5	

2.3.5. Exposição em atmosfera marinha

Este ensaio foi realizado expondo-se os corpos-deprova ao intemperismo natural numa estação de ensaio de corrosão atmosférica, tipicamente marinha, situada no município de Angra dos Reis-RJ, e distante, aproximadamente, 20 m do mar. A duração do ensaio foi de 21 meses.

Na Tabela 11 apresentam-se os resultados da inspeção visual, realizada nos revestimentos, após o período de 21 meses de exposição dos corpos-de-prova na estação de ensaio mencionada.

Tabela 11
Resultados da inspeção visual realizada nos esquemas de pintura, após a exposição em atmosfera marinha

Fabricante	Esquema	Corrosão (ISO 4628/3) [9]	Empolamento (ISO 4628/2) [8]	Fendimento (ISO 4628/4) [10]	Avanço de corrosão na incisão (mm)
	A.Sa.S	Ri 0	0	0	1,0
	A.Sa.U	Ri 0	0	0	1,0
Α	A.WJ.S	Ri 0	0	0	1,0
	A.WJ.U	Ri 0	0	0	1,0
	B.Sa.S	Ri 0	0	0	12,5
В	B.Sa.U	Ri 0	0	0	10,0
5	B.WJ.S	Ri 0	0	0	10,5 c/ corr. filiforme
	B.WJ.U	Ri 0	0	0	5,5 c/ corr. filiforme
	C.Sa.S	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	13,0 c/ corr. filiforme
С	C.Sa.U	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	10,5 c/ corr. filiforme
-	C.WJ.S	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	12,0 c/ corr. filiforme
	C.WJ.U	Ri 0	0	1(S5)a, s/ orient. pref.	12,2 c/ corr. filiforme

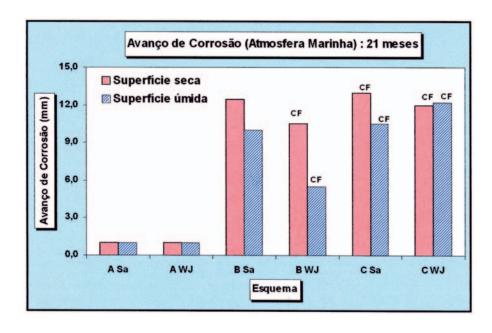


Fig. 4 – Avanço de corrosão, sob o revestimento, na região da incisão, referente aos esquemas de pintura aplicados sobre superfícies seca e úmida (CF: corrosão filiforme).

Na Figura 4 mostra-se o gráfico de avanço de corrosão, sob o revestimento por pintura, na região da incisão. Na Tabela 12 mostram-se os resultados dos ensaios de aderência, referentes às condições inicial e final (após a conclusão de ensaio).

2.3.6. Inspeção dos corpos-de-prova não submetidos aos ensaios de corrosão

Após a conclusão de todos os ensaios de corrosão (acelerados e não acelerados), os corpos-de-prova guar-

dados em laboratório (brancos ou testemunhos), foram submetidos a uma análise técnica das condições superficiais do substrato metálico. O objetivo básico foi verificar o efeito do umedecimento da superfície, antes da aplicação dos esquemas de pintura, no sentido de verificar se houve ou não algum tipo de corrosão sob o revestimento. Para tal, este foi removido por meio de removedor químico adequado. Em seguida, a superfície foi inspecionada visualmente. Os resultados obtidos na referida inspeção estão apresentados na Tabela 13.

 Tabela 12

 Resultados dos ensaios de aderência, referentes às condições inicial e final (após a conclusão do ensaio)

		Condição Inicial		Condição Final			
Esquema	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	NBR 11003 A [11]	ASTM D 4541 (MPa) [12]	Natureza da falha	
A.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	4,0	В	
A.Sa.U	X ₀ Y ₀	7,0	В	X ₀ Y ₀	6,0	В	
A.WJ.S	X ₀ Y ₀	5,5	В	X ₀ Y ₀	6,0	В	
A.WJ.U	X ₀ Y ₀	5,0	В	X ₀ Y ₀	5,0	В	
B.Sa.S	X ₀ Y ₀	8,5	В	X ₀ Y ₀	7,0	В	
B.Sa.U	X ₀ Y ₁	4,5	A/B	X ₀ Y ₂	6,0	В	
B.WJ.S	X ₀ Y ₀	7,5	В	X ₀ Y ₀	6,0	В	
B.WJ.U	X ₀ Y ₀	6,5	80% B	X ₀ Y ₀	2,5	В	
			20% A/B				
C.Sa.S	X ₀ Y ₀	7,0	C/Y	X ₀ Y ₀	5,0	В	
			40% Y/Z				
C.Sa.U	X ₀ Y ₀	8,0	30% A/B	X ₀ Y ₀	4,0	В	
			30% C/Y				
C.WJ.S	X ₀ Y ₀	8,0	C/Y	X ₀ Y ₀	5,0	В	
C.WJ.U	X ₀ Y ₀	7,8	C/Y	X ₀ Y ₀	3,5	В	

 Tabela 13

 Resultados das observações realizadas nos corpos-de-prova não submetidos aos ensaios de corrosão

Esquema	Aspecto visual da superfície do substrato metálico, após a remoção do revestimento:
A.Sa.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros
A.Sa.U	Presença de alguns pontos escuros (em quantidade muito pequena)
A.WJ.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros
A.WJ.U	Presença (em quantidade muito pequena) de alguns pontos escuros.
B.Sa.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros.
B.Sa.U	Presença de vários pontos com corrosão (escuros), em quantidade significativa.
B.WJ.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros.
B.WJ.U	Presença de alguns pontos escuros (em quantidade muito pequena).
C.Sa.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros.
C.Sa.U	Presença de alguns pontos escuros (em quantidade pequena).
C.WJ.S	Totalmente limpa e com ausência de pontos escuros.
C.WJ.U	Presença de alguns pontos escuros (em quantidade pequena).

3. DISCUSSÃO

Um dos objetivos principais deste trabalho foi avaliar o desempenho de esquemas de pintura, aplicados em superfícies úmidas, com diferentes graus de limpeza, obtidos por meio de jateamento abrasivo e hidrojateamento a hiperalta pressão. Obviamente que, para fins comparativos, os mesmos esquemas também foram aplicados sobre superfícies secas. Ou seja, na realidade o que se buscava era a obtenção de

dados técnicos que permitissem responder a uma pergunta bastante tradicional que é a seguinte: "os esquemas de pintura indicados para aplicação em superfícies úmidas têm o mesmo desempenho do que quando aplicados em superfícies secas?".

É claro que a resposta não é simples pois há que se considerar, além do desempenho, outros fatores importantes, como por exemplo a aplicabilidade das tintas. Além disso, cada produto tem as suas particularidades em termos de tecnologia de formulação e de fabricação. Logo, o comportamento não

pode ser generalizado. Além do desempenho dos esquemas de pintura sobre superfícies seca e úmida, o trabalho realizado também possibilitou, em paralelo, avaliar a influência dos dois métodos de preparação de superfície, jateamento abrasivo e hidrojateamento, no desempenho dos três esquemas de pintura A, B e C, todos elaborados com tintas epoxídicas com alto teor de sólidos.

Com relação aos dois métodos de preparação de superfície utilizados, em função dos resultados apresentados na Tabela 3, observa-se que o hidrojateamento a hiperalta pressão foi mais eficiente que o jateamento abrasivo, no que diz respeito à remoção de contaminantes salinos da superfície. Isto fica evidente não só pelo teor de cloreto na superfície, mas também pelo valor mais baixo de condutividade do extrato aquoso. De certa forma estes resultados já eram esperados, uma vez que o hidrojateamento a hiperalta pressão tem se mostrado mais eficiente que o jateamento abrasivo na remoção de sais solúveis. Enquanto no hidrojateamento a água pressurizada ajuda na solubilização e remoção dos sais, no jateamento abrasivo sempre existe a possibilidade de alguma incrustação destes na superfície. Portanto, a limpeza por meio de hidrojateamento a hiperalta pressão tende a conferir maior durabilidade aos esquemas de pintura. Obviamente, como já é bastante conhecido, este método não confere rugosidade à superfície e, portanto, é somente indicado para os serviços de manutenção. Nestes casos, ele vai apenas regenerar o perfil de rugosidade existente na superfície.

Quanto ao aspecto de aplicabilidade, por meio de trincha, a tinta do fabricante B apresentou excelentes características tanto em superfícies secas como em úmidas, independente do método de preparação das mesmas. A tinta do fabricante A mostrou melhor nivelamento em superfícies secas do que em úmidas. Já a tinta do fabricante C, apenas na aplicação da segunda demão, sobre superfície úmida, é que apresentou um nivelamento inferior em relação à aplicação sobre superfície seca. Portanto, como se pode observar, os produtos possuem características diferentes em termos de aplicação. Contudo, deve-se ressaltar que este nivelamento inferior das tintas A e C, em superfícies úmidas, não é motivo para se julgar os produtos como inadequados, ainda mais levando-se em consideração que a aplicação foi feita por meio de trincha e que este aspecto não interferiu no desempenho dos esquemas de pintura. Provavelmente, por meio de outro processo de aplicação mais eficiente, como por exemplo pistola sem ar ("airless spray"), pode-se conseguir películas com melhores características de nivelamento em superfícies úmidas.

Quanto ao "blushing" (a película apresenta-se com aspecto embranquiçado e "gorduroso") observado no esquema **B**, no caso da cura realizada em condição de alta umidade, é importante destacar que, apesar do fabricante de tinta informar que é normal, nas condições citadas, o fato é que ele deve ser removido da superfície antes da aplicação de uma nova demão de tinta. Caso contrário, existe um sério risco de ocorrer falha de aderência entre demãos.

Quanto ao ensaio cíclico de corrosão, os resultados obtidos no mesmo não mostraram qualquer influência da condição da superfície, seca ou úmida, no desempenho dos esquemas de pintura. O mesmo também pode ser dito com relação à influência do método de preparação de superfície. Na Tabela 5, por exemplo, observa-se que, em termos de corrosão, empolamento e fendimento, todos os esquemas

de pintura apresentaram, sobre superfícies úmidas, o mesmo desempenho daquele obtido em superfícies secas. O fendimento superficial observado no caso do esquema/tinta do fabricante **C** é uma falha inerente ao produto em questão, em função de sua tecnologia de formulação e de fabricação, ou seja, não depende das condições do substrato metálico.

Também no caso da aderência (Tabela 6) os resultados obtidos, por ambos os métodos, após a conclusão do ensaio, não permitem estabelecer qualquer influência da condição da superfície no desempenho dos esquemas de pintura, uma vez que não foram observadas falhas de natureza adesiva entre o substrato e os revestimentos por pintura.

Com relação ao avanço de corrosão, sob o revestimento, na região de incisão (Figura 2), não se observou qualquer influência da condição da superfície, seca ou úmida, no desempenho dos esquemas de pintura. As diferenças obtidas foram muito pequenas e podem ser consideradas desprezíveis, principalmente em função dos altos valores obtidos de avanço de corrosão. O que se pode observar no gráfico da Figura 2 é o fato de todos os esquemas aplicados sobre superfícies hidrojateadas terem apresentado um avanço de corrosão menor, em relação aqueles aplicados sobre superfícies limpas por meio de jateamento abrasivo. Do ponto de vista global, em termos de avanço de corrosão, o esquema A foi o que apresentou o menor avanço de corrosão, enquanto que o C o maior. O esquema B situou-se num estágio intermediário entre dois.

O ensaio de imersão em água destilada, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 7 e 8, mostrou diferenças significativas no comportamento dos esquemas de pintura, como por exemplo:

- O esquema A, independente da condição da superfície (seca ou úmida) e do método de preparação de superfície não apresentou qualquer tipo de falha no revestimento após a conclusão do ensaio. Os resultados dos ensaios de aderência também foram bastante satisfatórios, pois, em, praticamente, todas as condições as falhas foram de natureza coesiva. Apenas no caso do esquema A.WJ.U é que se observou 5% de falha adesiva A/B, porém 95% foi de natureza coesiva.
- Com relação aos esquemas **B** e **C**, ambos apresentaram formação de bolhas, tanto em superfícies úmidas como em secas, independente do método de preparação de superfície. Portanto, o empolamento observado em ambos diz mais respeito à tecnologia dos produtos do que à condição de superfície. Mesmo assim, observa-se que, de uma forma geral, em ambos, a resistência ao empolamento foi maior nos casos em que eles foram aplicados sobre superfícies secas.

Devido ao empolamento observado em ambos os esquemas (**B** e **C**), no ensaio de aderência pelo método de tração [12], a natureza da falha foi adesiva entre o revestimento e o substrato.

Face ao exposto, verifica-se que o esquema A foi, dentre os três, o que apresentou melhor desempenho global. Dentre os esquemas B e C, este último foi, a exemplo do ensaio anterior, o que apresentou a menor resistência às condições do ensaio em questão.

É importante destacar que o desempenho dos esquemas **B** e **C** no ensaio de imersão em água destilada não pode ser considerado definitivo no julgamento das características técnicas dos mesmos. O ensaio em si serve apenas para avaliar o comportamento dos esquemas numa condição específica de exposição. Por exemplo, no ensaio cíclico de corrosão, mencionado anteriormente, o desempenho dos mesmos foi totalmente diferente. É possível que, em muitas situações, não seja necessário que os esquemas tenham resistência a condições de imersão. Neste caso, teriase uma maior flexibilidade em termos de esquemas disponíveis, como por exemplo o **B** que apresentou o segundo melhor desempenho.

Os resultados do ensaio de exposição ao intemperismo natural na atmosfera urbana com a pulverização de solução de NaCl 1%, a exemplo do ensaio cíclico, não evidenciaram, conforme pode ser observado na Tabela 9, diferenças significativas no desempenho dos esquemas de pintura, tanto em relação à condição da superfície, seca ou úmida, quanto ao método de preparação da mesma. O fendimento superficial observado no esquema C, não foi decorrente da condição da superfície e sim da característica técnica do produto. Nos outros dois esquemas A e B não se observou a presença de fendimento nos respectivos revestimentos. Da mesma forma, os resultados dos ensaios de aderência, além de satisfatórios, também não evidenciaram qualquer influência das condições superficiais no comportamento dos revestimentos.

No que diz respeito ao avanço de corrosão na incisão (Figura 3), os resultados obtidos não permitem tirar qualquer tipo de conclusão consistente a respeito da influência da condição superficial, com relação ao tema em questão. Os avanços de corrosão, após 21 meses, foram bastante altos e as diferenças observadas não foram significativas. Também com relação aos métodos de preparação de superfície, os resultados obtidos não permitem tirar qualquer conclusão a respeito da influência dos mesmos no avanço de corrosão.

Quanto ao ensaio de exposição em atmosfera marinha, os resultados obtidos após 21 meses, do ponto de vista qualitativo, foram semelhantes aqueles obtidos no ensaio cíclico e no de exposição em atmosfera urbana com a pulverização de solução de NaCl 1%. Portanto, aplicam-se aqui os mesmos comentários feitos anteriormente para os dois ensaios mencionados.

Os resultados de avanço de corrosão apresentados na Figura 4 mostram que o esquema **A**, independente da condição da superfície, seca ou úmida, e do método de limpeza da mesma, foi o que apresentou melhor desempenho no que diz respeito ao tema em questão. Também é possível observar que não existe uma correlação clara entre a condição da superfície (seca ou úmida) e o avanço de corrosão, sob o revestimento, na região da incisão. Isto fica ainda mais evidente quando se observa, de forma conjunta, estes resultados com os dos demais ensaios (Figuras 2 e 3).

Em sequência à análise dos resultados obtidos, é importante tecer alguns comentários a respeito da inspeção realizada nos corpos-de-prova não submetidos aos ensaios de corrosão e guardados em laboratório para servirem de referência. Como pode ser observado na Tabela 13, o umedecimento da superfície com água conduziu a formação de alguns pontos escuros na superfície do substrato, provavelmente decorrente da corrosão do aço. Como o acesso de oxigénio é bastante restrito, tais pontos podem corresponder

à magnetita (Fe_3O_4). Nos casos em que os esquemas de pintura foram aplicados sobre superfícies secas, tais pontos não foram observados. Apesar dos pontos escuros formados, no caso dos esquemas aplicados em superfícies úmidas, não terem interferido, neste estudo específico, no desempenho dos revestimentos, é importante observar e deixar claro que:

- Dentre os dois métodos de preparação de superfícies utilizados, o jateamento abrasivo foi, no caso do esquema **B**, o que propiciou o aparecimento de maior quantidade de pontos com corrosão na superfície (ver B.WJ.U x B.Sa.U). Isto, de certa forma, está coerente com os dados de análise de contaminantes superficiais, especialmente de iões cloreto (CI-), mostrados na Tabela 3.
- Do ponto de vista prático, em caso de haver necessidade de aplicar esquemas de pintura sobre superfícies úmidas, o hidrojateamento a hiperalta pressão deve ser o método de limpeza utilizado, principalmente se a superfície estiver, inicialmente, num estágio de corrosão avançado e com grau de contaminação elevado. Nesta última condição, a aplicação de esquemas de pintura sobre superfícies úmidas preparadas por meio de jateamento abrasivo representa um risco muito grande para o desempenho dos revestimentos, a menos que, após o jateamento, se faça uma limpeza com água a alta pressão, para reduzir o teor de contaminantes salinos. No caso do presente trabalho, não houve influência da superfície úmida, preparada por meio de jateamento abrasivo em função de que o nível de contaminantes superficiais era, relativamente, baixo.

Embora não tivesse sido objeto do estudo, vale a pena ressaltar que o ensaio cíclico de corrosão realizado em laboratório mostrou boa correlação qualitativa com os ensaios de campo, realizados nas duas estações de corrosão atmosférica mencionadas no trabalho. Portanto, a sua utilização, juntamente com ensaios de imersão (ex.: em água destilada e água salgada), pode-se constituir numa metodologia alternativa para avaliação futura de novos esquemas de pintura, sem a necessidade de se esperar pelos resultados dos ensaios de campo.

4. CONCLUSÕES

Considerando-se as condições iniciais das chapas de aço, a metodologia de preparação dos corpos-de-prova, os ensaios realizados, os resultados obtidos e a discussão dos mesmos, pode-se concluir que:

- O esquema de pintura **A** foi, dentre os três, aquele que apresentou, do ponto de vista global, em todos os ensaios, o melhor desempenho. Também é importante destacar que a condição superficial (seca ou úmida) não interferiu no desempenho do revestimento.
- Quanto aos esquemas de pintura **B** e **C**, estes apresentaram bom desempenho em superfícies seca e úmida nos ensaios cíclico e de exposição ao intemperismo natural, nas duas estações de corrosão atmosférica. No ensaio de imersão em água destilada, independente da condição superficial, observou-se a formação de bolhas, sendo que, nas

superfícies úmidas, o empolamento ocorreu mais rapidamente. Do ponto de vista global, dentre os dois esquemas de pintura em questão, o esquema **B** mostrou-se mais eficiente que o **C**.

• Em termos de facilidade de aplicação, por meio de trincha, principalmente sobre superfícies úmidas, a tinta **B** foi a que apresentou as melhores características técnicas.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a valiosa colaboração prestada pela PETROBRAS, em especial à Eng.ª Rosângela Colonese, da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), na preparação de superfície dos corpos-de-prova por meio de hidrojateamento a hiperalta pressão.

REFERÊNCIAS

- [1] J. P. QUINTELA, A. A. T. M. SILVA e P. P. B. LEITE, Corros. *Prot. Mater.*, 21, 3, 6 (2002).
- [2] ISO 8501:1988. (Preparation of Steel Surfaces Before Application of Paints), ISO, Geneve, Switzerland (1988).
- [3] ISO 9223:1991. (Corrosion of Metals and Alloys, Classification of Corrosivity of Atmospheres), ISO, Geneve Switzerland (1991).
- [4] M. MORCILLO, E. ALMEIDA, F. FRAGATA y Z. PANOSSIAN (Corrosión y Protección de Métales en las Atmósferas de Iberoamerica), CYTED, Madrid, España (2002).

- [5] NACE No 5/SSPC-SP 12, (Surface Preparation and Cleaning of Steel and Other Hard Materials by High-and Ultrahigh-Pressure Water Jetting Prior to Recoating), NACE, USA (1995).
- [6] ASTM D 512:1981. (Standard Test Methods for Chlorine lon in Water – Method C), ASTM, Philadelphia, USA (1981).
- [7] M. C. RAND, A. E. GREENBERG, M. J. TARAS and M. A. FRANSON (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) 14th edition, Ed. APHA-AWWA-WPCF, Washington, USA, pg. 496 (item 427c) 1979.
- [8] ISO 4628:1982.(Evaluation of Paint Coatings Part 2: Designation of Degree of Blistering), ISO, Geneve, Switzerland (1982).
- [9] ISO 4628:1982.(Evaluation of Paint Coatings Part 3: Designation of Degree of Rusting), ISO, Geneve, Switzerland (1982).
- [10] ISO 4628:1982.(Evaluation of Paint Coatings Part 4: Designation of Degree of Cracking), ISO, Geneve, Switzerland (1982).
- [11] NBR 11003 A: 1990. (Tintas Determinação da Aderência), Rio de Janeiro, Brasil (1990).
- [12] ASTM D 4541:2003. (Standard Test for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers), ASTM, Philadelphia, USA (2003).
- [13] ASTM G 154:2001. (Operating Fluorescent Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials), ASTM, Philadelphia, USA (2001).
- [14] ASTM D 870:1987. (Testing Water Resistance of Coatings using Water Immersion), ASTM, Philadelphia, USA (1987).