
Copyright 2018, ABRACO

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

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

Resultados da exposição atmosférica por dois anos de aço carbono e aço galvanizado pintados (sistema duplex) em duas estações da Petrobrás

Ricardo Suplicy Goes¹, Renata Yuriko Ogura², Paulo Cesar Maziero Tiano³, Celso Gnecco⁴, Genaro Zanon⁵, Marcelo Schultz⁶, Idalina Vieira Aoki⁶

Abstract

Steel structures can have their service life increased when the steel is hot dip galvanized, providing barrier and cathodic protection, resulting from the sacrificial consumption of the zinc coating. On the other hand, it is known that very often the use of paint on galvanized steel results in the detachment of the layers of paint due to the lack of adhesion to the substrate. One of the accepted causes is surface contamination by chlorides, and in many cases light blasting is done in order to clean the surface of the zinc coating from undesirable impurities, improving the performance of the duplex system.

The objective of this study was to compare the performance of different systems: duplex (painted galvanized steel) and painted carbon steel exposed for two years (2014-2016) on the Brazilian northeast coast (Aracaju) in one atmospheric corrosion station, near the beach and also near a gas processing unit of Petrobras. Some paint systems were tested: epoxy isocyanate + epoxy polyamide + PU; epoxy amine (damp tolerant) + epoxy polyamide + PU; epoxy polyamide + epoxy polyamide + PU; epoxy amine + PU; epoxy amine + PU; epoxy amine and micaceous iron oxide + PU; acrylic based DTM water and powder paint. In addition to the different painting systems, different surface pre-treatments were also evaluated in galvanized steel (water wash and a hard sponge, light sandblasting, sulfosilane, and an hybrid coating). The results allowed us to classify the aggressiveness of sites and identify the most protective systems for carbon steel and galvanized steel as well as the influence of pre-treatments on the corrosion resistance of duplex systems. Image treatment techniques allowed determine the corroded area around the incision precisely, facilitating the assignment of the degree of attack according to ISO 4628-8. The results unquestionably showed the superiority of the painted galvanized steel and the best pre-treatment.

Keywords: duplex system, galvanized steel, carbon steel, corrosion rate, classification of site aggressiveness; pre-treatments.

Resumo

As estruturas de aço podem ter sua vida útil aumentada quando o aço é galvanizado por imersão a quente, proporcionando proteção por barreira e catódica, resultante do consumo sacrificial do revestimento de zinco. Por outro lado, é sabido que com grande frequência, o

¹Engenheiro Mecânico - ICZ - Instituto de Metais Não Ferrosos

²Engenheira Industrial - Armco Staco S.A Industria Metalúrgica

³Bacharel em Ciência Química - Industria Elétrica Marangoni Maretti Ltda

⁴Engenheiro Químico - Sherwin-Williams do Brasil

⁵Engenheiro Mecânico - PETROLEO BRASILEIRO S.A.

⁶Engenheiro de Corrosão - PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.

⁷Professora Doutora - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

uso de pintura sobre aço galvanizado resulta no destacamento das camadas de tinta por conta da falta de aderência ao substrato. Uma das causas já aceitas é a contaminação da superfície por cloretos e, em muitos casos, o jateamento leve é feito com o intuito de limpar a superfície do revestimento de zinco das impurezas indesejáveis, melhorando o desempenho do sistema duplex.

O presente trabalho tem por objetivo comparar o desempenho de diferentes sistemas duplex (aço galvanizado pintado) e aço carbono pintado expostos durante dois anos (2014-2016) na orla marinha do nordeste brasileiro (Aracaju) em uma estação de corrosão atmosférica, próxima a uma unidade processadora de gás da Petrobras à na praia de Atalaia, Aracaju, SE. Alguns sistemas de pintura foram testados: epoxi isocianato + epoxi poliamida + PU; epóxi amina + PU; epóxi amina (damp tolerant) + epóxi poliamida + PU; Epóxi Óxido de Ferro Micáceo + PU; epóxi poliamida + epóxi poliamida + PU; Epóxi Damp Tolerant + epóxi poliamida + PU; acrílica base água DTM e pintura em pó. Além dos diferentes sistemas de pintura também foram avaliados diferentes pré-tratamentos da superfície no aço galvanizado (lavagem com água e uma esponja dura; jateamento leve, sulfossilano). Os resultados permitiram classificar a agressividade dos locais e identificar os sistemas mais protetores para aço carbono e para aço galvanizado, bem como a influência dos pré-tratamentos na resistência à corrosão dos sistemas duplex. Uma técnica de tratamento de imagens permitiu determinar a área corroída em torno da incisão de forma precisa, facilitando a atribuição do grau de ataque segundo a ISO 4628-8. Os resultados mostraram de forma incontestável a superioridade do aço galvanizado pintado (sistema duplex) e o melhor pré-tratamento na proteção contra a corrosão do aço carbono.

Palavras-chave: sistema duplex, aço galvanizado, aço carbono, velocidade de corrosão, classificação da agressividade do local; pré-tratamentos.

Introdução

O método mais utilizado para proteger os materiais metálicos da corrosão é o da aplicação de sistemas de pintura, evitando assim o contato do substrato metálico com as espécies corrosivas do meio (1-3) e a proteção catódica galvânica aplicando revestimento de metal mais ativo, como o zinco, sobre um substrato de aço (3).

O aço galvanizado por imersão a quente e pintado, denominado Sistema Duplex, é utilizado na proteção do aço carbono contra a corrosão em ambientes que apresentam alta agressividade como o ambiente marinho, em função do alto desempenho apresentado decorrente da sinergia entre o aço galvanizado por imersão a quente e a tinta (4). Alguns trabalhos da literatura avaliaram o desempenho do sistema duplex através de ensaios acelerados (5), técnicas eletroquímicas (4-5) e muito poucos por exposição atmosférica. Alguns avaliaram a influência da presença prévia de contaminantes na superfície do aço galvanizado antes de receber pintura (6) e a influência de pré-tratamentos à base de silanos (7).

O presente trabalho tem por objetivo comparar o desempenho de diferentes sistemas duplex (aço galvanizado pintado) e aço carbono revestido expostos durante dois anos (2014-2016) na orla marinha do nordeste brasileiro (Aracaju) em duas estações de corrosão atmosférica, uma dentro e outra próxima a uma unidade processadora de gás da Petrobras. Alguns sistemas de pintura foram testados: epoxi isocianato + epoxi poliamida + PU; epóxi amina + PU; epóxi amina (damp tolerant) + epóxi poliamida + PU; Epóxi Óxido de Ferro Micáceo + PU; epóxi poliamida + epóxi poliamida + PU; Epóxi Damp Tolerant + epóxi poliamida + PU; acrílica base água DTM e pintura em pó. Além dos diferentes sistemas de pintura também foram

avaliados diferentes pré-tratamentos da superfície no aço galvanizado (lavagem com água e uma esponja dura; jateamento leve, sulfossilano).

Metodologia

Este foi um trabalho desenvolvido em parceria entre o ICZ, duas empresas fabricantes de tintas, uma empresa de galvanização, a Petrobrás e o Laboratório de Eletroquímica e Corrosão, na Universidade de São Paulo.

O número de corpos de prova pintados expostos estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Número de corpos de prova de aço carbono ou aço carbono galvanizado pintados e expostos próximo à praia

Painel 1	44 corpos de prova
Painel 2	46 corpos de prova
Painel 3	49 corpos de prova
Sub-total	139 corpos de prova

Os corpos de prova pintados de aço carbono ou de aço galvanizado a quente e pintado (sistema duplex), foram instalados na região da praia de Atalaia - Unidade Petrobras - Aracaju/Sergipe em 28/11/2014.

Inicialmente, o projeto foi feito para durar três anos, mas depois, devido a vários fatores, a duração precisou ser alterada para dois anos de exposição. A retirada foi em 14 de dezembro de 2016. Assim, transcorreram-se **748 dias** ou **106 semanas** desde a instalação dos cps. Os corpos de prova pintados foram escaneados após cada uma das retiradas após um ou dois anos de exposição. Neste trabalho vamos apresentar o que

Tabela 2 – Descrição dos sistemas de pintura empregados pelas empresas participantes: Marangoni, Sherwin-Williams e Trifer.

Empresa	Sistemas	Descrição do sistema de pintura
Marangoni	1	goniwater DTM F140 + Goniwater esmalte F11 (180µm+50 µm)
	2	goniwater DTM F140 + Goniwater DTM F228 (180 µm +80 µm)
	3	goniwater DTM F228 (200µm)
Sherwin-Williams	1	1d Epóxi-isocianato (N-2198) 25 µm + 1d Epóxi-poliamida (N-2628) 175 µm + 2d Poliuretano (N-2677) 60 µm Total = 320 µm
	2	1d Epóxi-amina 25 µm + 1d Poliuretano (N-2677) 70 µm Total = 95 µm
	3	1d Epóxi damp tolerant-amina (N-2680) 150 µm + 1d Epóxi-poliamida (N-2628) 100 µm + 1d Poliuretano (N-2677) 70 µm Total = 320 µm
	4	1d epóxi óxido Fe Micáceo 100 µm + 1d Poliuretano (N-2677) 70 µm Total = 170 µm
	5	1d Epóxi-poliamida HS 50 µm + 1d Epóxi-poliamida HS 200 µm 1d Poliuretano (N-2677) 70 µm Total = 320 µm

	6	Pré-tratamento com sulfossilano e 1d Epóxi damp tolerant-amina (N-2680) 150 μm + 1d Epóxi-poliamida (N-2628) 100 μm + 1d Poliuretano (N-2677) 70 μm Total = 320 μm
	7	Pré-tratamento com solução de híbrido e 1d Epóxi damp tolerant-amina (N-2680) 150 μm + 1d Epóxi-poliamida (N-2628) 100 μm + 1d Poliuretano (N-2677) 70 μm Total = 320 μm
Trifer	1	Pintura eletrostática a pó

Os pré-tratamentos testados estão apresentados na Tabela 3.

A galvanização da maioria dos corpos de prova foi feita pela Armco Staco com espessura de zinco de $(90 \pm 10) \mu\text{m}$. A Marangoni também fez sua galvanização por imersão a quente e também por aspersão térmica com espessura média de $(90 \pm 10) \mu\text{m}$. A Trifer também fez sua galvanização com espessura média de $(90 \pm 10) \mu\text{m}$

Os métodos empregados pelas empresas para tratamento dos corpos de prova antes da pintura são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Pré-tratamentos feitos nos corpos de prova de aço carbono e de aço galvanizado antes da pintura

Empresa	Aço carbono	Aço galvanizado
Marangoni	Jateado SA 2 ½	Passivado (para galvanizado feito na Marangoni)
		Não passivado (para galvanizado feito na Marangoni)
		Não passivado (para aço galvanizado pela Armco)
Sherwin-Williams	Desengraxado com solvente orgânico aromático, jateado com granalha de aço G-50 e depois soprado com ar comprimido limpo e seco para eliminar o pó (AC)	Desengraxado com solvente orgânico aromático, jateado com granalha de aço G-50 (pressão de 45 a 50 psi) em ângulo de 30° a 45° (sweep blast) e depois soprado com ar comprimido limpo e seco para eliminar o pó (GJ)
Sherwin-Williams		Desengraxado com solvente orgânico aromático, esfregado com manta não tecida com abrasivos (scotch brite) para tirar o brilho da camada de zinco e depois desengraxado novamente para eliminar contaminantes oleosos, graxas e possíveis cloretos (GD)
LEC – Laboratório de		Lavagem do aço zincado

Eletroquímica e Corrosão - USP		com água e detergente com uma bucha scotch brite pelo lado amarelo, antes de aplicar o silano ou solução de híbrido, nos sistemas 6 e 7, conforme Anexo I
Trifer	Só aplicou sobre galvanizado	Não passivado

Comparação entre os métodos normatizados de avaliação da resistência à corrosão dos diferentes sistemas de pintura e tratamentos de superfície

Entre os diferentes métodos de avaliação que derivam das diferentes normas, neste projeto se havia acertado, num primeiro momento, que se utilizaria a **norma ISO 12944** que é bastante restritiva e que considera sistemas bons para resistir aos ambientes classificados pela ISO como C5-M (agressivo marinho) ou C5-I (agressivo industrial) aqueles cujo avanço de corrosão sob a tinta a partir da incisão provocada, não ultrapasse 1mm.

Em vista da dificuldade de se estabelecer a distinção entre área corroída e área de destacamento da tinta (blistering) para os corpos de prova de aço galvanizado, achou-se por bem, utilizar a classificação empregando outras normas para cps pintados.

A **norma ASTM D610** classifica o grau de ataque em corpos de prova pintados e sem defeito ou incisão provocados. Segundo esta norma, usando os padrões visuais apresentados nela nas Figuras 1, Figura 2 e Figura 3 e correspondentes a uma percentagem de área atacada e com a ajuda da Tabela 1 da respectiva norma, pode-se classificar os corpos de prova desde o grau 1 até grau 10, após exposição em um ambiente agressivo, sendo o grau 10 aquele de um cp sem ataque algum, seja na forma de pontos (pin spots), geral ou áreas maiores de ataque (spot rusting).

A **norma ASTM D714** é para avaliar o grau de bolhas ou blistering que aparecem na tinta nos corpos de prova pintados e sem defeito provocado. Há padrões fotográficos de referência para que se possa comparar e classificar os corpos de prova após exposição por um período, em atmosfera ou ambiente agressivo. A Figura 1 da norma mostra os padrões fotográficos para auxiliar na classificação do tamanho e densidade de bolhas (blistering) no filme de tinta.

A **norma ASTM D 1654** permite avaliar e comparar o desempenho de corpos de prova pintados onde se executou um defeito por incisão na tinta, após um período de exposição num ambiente agressivo. O grau de ataque é classificado em termos da distância em milímetros em que a corrosão ou destacamento se alastrou a partir da incisão provocada na tinta. Ele permite comparar e classificar o desempenho de tintas e tratamentos quanto ao grau de corrosão, ao destacamento associado à corrosão e outros defeitos do filme. A Tabela 1 da norma fornece o grau de falha associada à incisão na tinta e vai do grau 10 (sem ataque algum) até grau 0 com ataque indo a mais de 16mm da incisão.

A **norma ASTM 4628 – 8** permite através de gráficos pictoriais presentes na norma, comparar o grau de ataque do cp analisado com o padrão mostrado na ISO 4628-8.

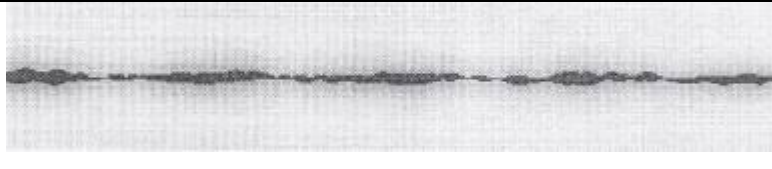


A Tabela 4 apresenta a classificação do ataque segundo a **norma ISO 4628-8** para os corpos de prova de aço carbono pintado e com defeito, fazendo uso de um sistema de tratamento da imagem dos corpos de prova escaneados, após remoção da tinta. A norma ISO 4628-8: *Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance* foi utilizada como referência para classificação do grau de corrosão dos CPs. No entanto, como ela não possui um referencial quantitativo para cada grau de ataque, as imagens padrão disponíveis na norma (escala 1:1) também foram submetidas à análise de imagem pelo software. Como resultado, foram determinadas faixas de área absoluta para cada grau de corrosão (Tabela 5).


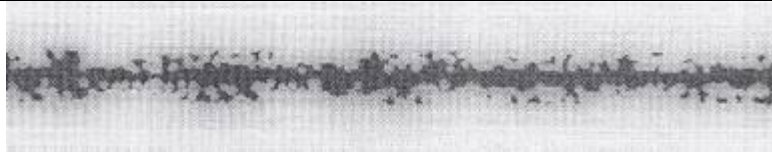
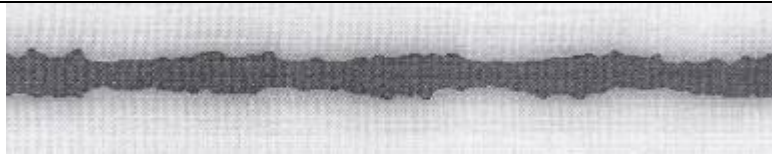

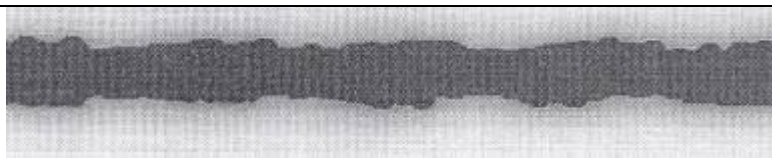
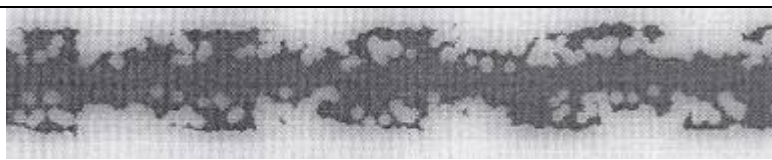
Tabela 4 - Grau de ataque por área corroída absoluta

Grau	Área corroída absoluta (cm²)
G1 – Muito suave	< 1,4
G2 – Suave	$1,4 \leq A < 2,3$
G3 – Moderado	$2,3 \leq A < 3,7$
G4 – Considerável	$3,7 \leq A < 6,0$
G5 – Severo	$\geq 6,0$

Os valores foram gerados do tratamento das imagens dos padrões fotográficos da norma segundo a Tabela 5.

Tabela 5 – Adaptação da Tabela 1 da ISO 4628-8 e cálculo da área absoluta dos padrões fotográficos de referência dessa norma

Área total de 9,7 x 1,9 cm	Área absoluta (cm²)	Grau
	1,212	G1 Muito branda
	2,058	G2 Branda
	1,587	

	3,054	G3 Moderada
	2,548	
	4,799	G4 Considerável
	4,314	
	7,488	G5 Severa
	7,112	

As faixas de valores para a Tabela 4 foram alteradas em relação ao que a norma prescreve, porque nela há “gaps” que podem gerar dúvidas na classificação do grau de ataque.

Medida de aderência dos sistemas de pintura pelo método *pull-off*

As medidas de aderência pelo método de *pull-off* foram realizadas nos corpos de prova pintados cuja retirada havia sido planejada após 3 anos de exposição, em vista da duração do projeto ter sido alterada para dois anos.

Foi utilizado o equipamento PATTI Quantum digital, as medidas foram realizadas em dois pontos de cada chapa. O pistão utilizado nos ensaios foi o pistão F-8 e os pinos (stubs) possuíam 0,5” de diâmetro. O adesivo utilizado foi o adesivo epóxi bicomponente da marca J-B Weld. Os ensaios foram realizados e interpretados de acordo com a norma ABNT NBR 15877.

Exame visual das amostras para a caracterização do grau de empolamento

Apos os ensaios de EIE nas amostras sem defeito, foi feita a avaliação do grau de empolamento nas regiões dos corpos de prova que ficaram imersos. A classificação do grau de empolamento foi realizada seguindo a norma ASTM D 714.

Resultados e discussão

Classificação da agressividade do sítio de exposição dos corpos de prova pintados – Praia de Atalaia – Aracaju – SE

Os resultados, após 12 meses de exposição, com corpos de prova de aço carbono sem revestimento permitem classificar a categoria do ambiente perto da praia como **C4 – agressividade severa**. Os resultados após 24 meses de exposição de aço carbono permitiram classificar a agressividade do local como sendo C4. Deve-se ressaltar que segundo a ISO 9223 o que vale é a classificação obtida com 12 meses de exposição.

A agressividade medida pelo aço galvanizado exposto sem revestimento resultou em **grau C5 – agressividade altamente severa** após um e dois anos de exposição, não coincidiu com a agressividade classificada com os corpos de prova de aço carbono, tendo sido maior. É preciso ressaltar que na norma ISO 9223, o zinco se refere a placas de zinco laminado e neste trabalho se trata de zinco depositado por imersão a quente, que por ter microestrutura diferente, apresenta velocidade de corrosão um pouco maior. Vale notar que a velocidade de perda de espessura do aço carbono é dez vezes maior que a perda de espessura de aço galvanizado para o mesmo nível de agressividade do meio. Os resultados de velocidade de corrosão após dois anos de exposição levaram à mesma classificação de agressividade que após um ano de exposição, segundo a ISO 9223. Isso mostra a coerência dos resultados obtidos no projeto.

Comparação do aspecto dos cps pintados de aço carbono e aço galvanizado por imersão a quente após dois anos de exposição na praia de Atalaia, Aracaju, SE – ambiente severidade C4

O aspecto dos corpos de prova pintados e sem defeito provocado estão reunidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação do aspecto dos corpos de prova pintados de aço carbono e aço galvanizado por imersão à quente, sem defeito provocado, para alguns sistemas de pintura utilizados após dois anos de exposição na Praia de Atalaia – SE



ICZ 14
AC jateado SA 2 ½ com sistema 2 de pintura Marangoni.



ICZ 32
AZ Armco + system 2 de pintura Marangoni.



ICZ 107
AC jateado AC + sistema 3 de pintura da SW



ICZ 101
AZ desengraxado scotch brite GD + sistema 3 de pintura da SW



ICZ 98
AZ jateado GJ + sistema 3 de pintura da SW



ICZ 77
AC jateado AC + sistema 1 de pintura da SW



ICZ144
AZ lavado + pré-tratamento híbrido _ sistema 1 de pintura da SW

Os tratamentos do aço galvanizado por imersão a quente, antes da pintura, desengraxados com scotch brite (GD) e o jateado GJ não mostraram diferença no desempenho sem a presença de defeito provocado. Nos dois casos, eliminam-se os cloretos que porventura contaminem a superfície do aço galvanizado por imersão a quente.

Após dois anos de exposição à beira da Praia de Atalaia, SE, os corpos de prova com sistema duplex, galvanizado por imersão a quente e pintado, mostraram desempenho muito superior aos corpos de prova de aço carbono pintados. A observação das bordas dos cps de aço para os sistemas de pintura da SW mostram muita fragilidade e pouca proteção ao substrato de aço, mas no caso dos cps galvanizados por imersão a quente, mesmo utilizando o mesmo sistema de proteção das bordas, estas se mostram íntegras, sem ataque, o que vem corroborar o efeito protetor da galvanização por imersão a quente.

Comparação do aspecto dos cps pintados de aço carbono e aço galvanizado por imersão a quente com incisão e após remoção da tinta, após dois anos de exposição na praia de Atalaia, Aracaju, SE

Os resultados com o aspecto dos cps pintados estão reunidos na Tabela 7.

Após **dois anos de exposição**, o aspecto dos corpos de prova de **aço carbono pintado** e com incisão são apresentados na Tabela 5.

Tabela 7 - Aspecto dos corpos de prova de aço carbono pintado e com incisão provocada que foram escaneados após decorridos **dois anos de exposição** próximo à praia de Atalaia e os mesmos cps após a retirada da tinta com um pequeno formão.



ICZ20

ICZ20
AC jateado SA 2 ½ +
sistema 1 de pintura da
Marangoni



ICZ23

ICZ23
AC jateado SA 2 ½ +
Sistema 2 de pintura da
Marangoni.

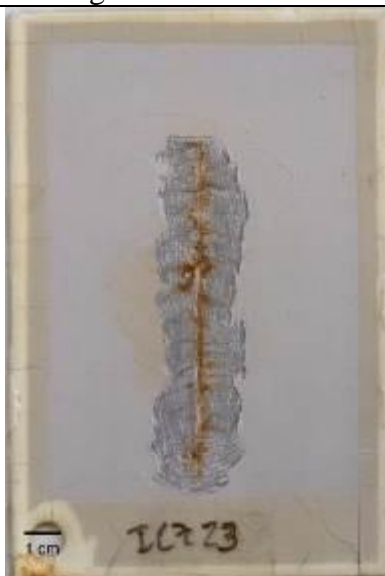


ICZ26

ICZ26
AC jateado SA 2 ½ + sistema
3 de pintura da Marangoni



ICZ20



ICZ23



ICZ26



ICZ80
AC jateado ACI + sistema 1
de pintura da SW



ICZ95
AC jateado ACI + sistema 2
de pintura da SW



ICZ110
AC jateado ACI + sistema 3
de pintura da SW





ICZ125
AC jateado ACI + sistema 4
de pintura da SW









ICZ140
AC jateado ACI + sistema 5
de pintura da SW









Após dois anos de exposição, pode-se dizer que os melhores sistemas de pintura para aço carbono foram os sistemas 4 e sistema 2 da SW e o sistema 2 da Marangoni, nessa ordem. Os piores sistemas para aço carbono foram o sistema 5 da SW, sistema 3 da SW e o sistema 3 da Marangoni, nessa ordem.

O aspecto dos corpos de prova de **aço galvanizado e pintado** (sistema duplex) e com incisão após **dois anos de exposição** a 50m da Praia de Atalaia, SE, está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8– Aspecto dos corpos de prova de aço carbono galvanizado pintado (sistema duplex) e com incisão provocada que foram escaneados, após decorridos dois anos de exposição, próximo à praia de Atalaia

		
ICZ44 AZ Armco + sistema 1 de pintura da Marangoni.	ICZ47 AZ Armco + sistema 2 de pintura da Marangoni.	ICZ50 AZ Armco + sistema 3 de pintura da Marangoni
		

		
<p>ICZ59 AZ Trifer + pintura pó eletrostática Trifer.</p>	<p>ICZ65 AZ Armco + pintura pó eletrostática Trifer</p>	<p>ICZ74 AZ jateado GJ + sistema 1 de pintura da SW</p>
		

<p>ICZ 89 AZ jateado GJ + sistema 2 de pintura da SW</p>	<p>ICZ 104 AZ jateado GJ + sistema 3 de pintura da SW</p>	<p>ICZ 119 AZ jateado GJ + sistema 4 de pintura da SW</p>



ICZ 134
AZ jateado GJ+ sistema 5 de
pintura da SW



ICZ143
AZ lavado + sulfossilano
LEC + sistema 1 SW



ICZ145
AZ lavado + híbrido LEC
+ sistema 1 SW



Após **dois anos de exposição** dos corpos de prova, nota-se que todos os cps pintados sobre aço galvanizado apresentam excelente aspecto na região da incisão, situação muito diferente do aspecto dos corpos de prova pintados sobre aço ao carbono, mostrados na Tabela 8. A incisão nos corpos de prova pintados após a retirada da tinta revela, de forma mais clara, que alguns sistemas de pintura tiveram melhor desempenho que outros sobre o aço galvanizado por imersão a quente. Deve-se ressaltar que o sistema 1 da SW tem o primer de cor vermelha, e essa cor aparece após a retirada da tinta em torno da incisão. Isso não deve ser confundido com ferrugem advinda da corrosão do substrato de aço carbono. O sistema 2 da Marangoni e os sistemas 3, 4 e 5 da SW mostraram melhor desempenho para aço galvanizado. Deve-se destacar o excelente desempenho da pintura eletrostática feita pela Trifer sobre aço galvanizado na Armco Staco, pois sobre os cps galvanizados na própria Trifer, o desempenho não foi tão bom. Outro ponto a ser destacado foi o melhor desempenho do sistema 7 da SW quando pré-tratado com híbrido. O cp tratado com sulfossilano (sistema 6 da SW) não apresentou bom desempenho.

A comparação do desempenho das mesmas tintas aplicadas sobre os diferentes substratos, após **dois anos de exposição**, mostra de forma expressiva a superioridade no desempenho das tintas para os substratos galvanizados por imersão a quente. É possível escolher, pelo aspecto antes e após a retirada da tinta em torno da incisão, os melhores sistemas para aço carbono e os melhores sistemas de pintura para aço galvanizado. Para aço ao carbono, os melhores são o sistema 2 da Marangoni e o sistema 2 e sistema 4 da SW. Para o aço galvanizado se destacam os sistemas 3, 4 e 5 da SW e o sistema 2 da Marangoni. Quanto ao pré-tratamento usado, a comparação não pode ser feita para um mesmo sistema de pintura, uma vez que SW só fez incisão nos cps galvanizados e pintados tendo recebido o jateamento leve no galvanizado antes da pintura. É uma pena, pois este era um dos objetivos do projeto. A Marangoni não fez o jateamento leve em nenhum dos seus cps, e como os sistemas de pintura são muito diferentes daqueles da SW, não é possível estabelecer a influência do pré-tratamento jateado leve e desengraxado.

Classificação pelo grau de ataque segundo norma ASTM D610 dos corpos de prova galvanizados a quente, pintados e sem defeito provocado

Após **dois anos de exposição**, os cps galvanizados por imersão a quente e pintados (sistema duplex) e sem incisão após avaliação segundo a norma ASTM D610, com os resultados reunidos na Tabela 9, mostram excelente aspecto e todos foram classificados segundo a ASTM610 com classificação entre 10 e 9S ou 9P. Isso revela o excelente cobertura e ausência de poros nos sistemas de pintura aplicados sobre aço galvanizado por imersão a quente. Mesmo após dois anos de exposição, ainda é impossível fazer distinção entre os sistemas de pintura, mostrando a superioridade do sistema duplex frente ao sistema de pintura aplicado diretamente sobre aço carbono.

Tabela 9 – Grau de ataque segundo ASTM D610 dos corpos de prova galvanizados e pintados após dois anos de exposição na praia de Atalaia, SE

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Grau de ataque segundo ASTM D610
ICZ 29	Marangoni – sist. 1/ Armco sem passivação	10
ICZ 32	Marangoni – sist. 2/Armco sem passivação	10
ICZ 35	Marangoni – sist. 3/Armco sem passivação	10
ICZ 38	Marangoni – sist. 1/Marang pass	10
ICZ 41	Marangoni – sist. 1/Marang não passivado	10
ICZ 53	Marangoni – sist. 1/ Marang aspensão térmica	10
ICZ 56	Trifer – eletrostática/ Trifer	9P
ICZ 62	Trifer – eletrostática/ Armco sem passivação	9P
ICZ 68	SW sist 1 / Armco GJ	10
ICZ 71	SW sist 1 / Armco GD	10
ICZ 83	SW sist 2 / Armco GJ	9S próximo borda
ICZ 86	SW sist 2 / Armco GD	9P
ICZ 98	SW sist 3 / Armco GJ	10
ICZ 101	SW sist 3 / Armco GD	10/9S
ICZ 113	SW sist 4 / Armco GJ	9S
ICZ 116	SW sist 4 / Armco GD	10
ICZ 128	SW sist 5 / Armco GJ	10
ICZ 131	SW sist 5 / Armco GD	9S
ICZ142	SW sist. 1/Armco lavado + sulfossilano	9P
ICZ144	SW sist. /Armco lavado + hibrido	10

Classificação pelo grau de ataque segundo norma ASTM D610 dos corpos de prova de aço carbono pintados e sem defeito provocado

Após **dois anos de exposição**, os corpos de prova de aço carbono pintados foram avaliados segundo a ASTM D610 e os resultados da avaliação se encontram na Tabela 10.

Tabela 10 - Grau de ataque segundo ASTM D610 dos corpos de prova de aço carbono pintados, sem defeito provocado, após dois anos de exposição, na praia de Atalaia, SE

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Grau de ataque segundo ASTM D610
ICZ 11 e ICZ12	Marangoni – sist. 1	9S
ICZ 14 e ICZ15	Marangoni – sist. 2	9S
ICZ 17 e ICZ18	Marangoni – sist.. 3	9S
ICZ 77 e ICZ78	SW sist. 1	9P
ICZ 92 e ICZ93	SW sist. 2	9P
ICZ 107 e ICZ108	SW sist. 3	10
ICZ 122 e ICZ123	SW sist. 4	10
ICZ 137 e ICZ138	SW sist. 5	10

Classificação do grau de ataque a partir da incisão pela norma ASTM D1654 nos corpos de prova de aço carbono pintados e expostos por um ano e por dois anos na Praia de Atalaia, SE

A Tabela 11 apresenta os corpos de prova ensaiados e a classificação destes segundo a ASTM D1654. Foram consideradas as maiores distâncias alcançadas a partir da incisão na tinta para balizar a classificação. A norma prescreve que se tome a média de seis pontos ao longo da incisão descontando o tamanho da incisão (foi de 0,5mm neste trabalho).

Após dois anos de exposição os cps de aço carbono pintado e com incisão foram avaliados pela ASTM D1654 e os resultados da avaliação se encontram na Tabela 11.

Tabela 11 – Classificação do ataque por corrosão ou destacamento da tinta segundo a ASTM D1654 em corpos de prova de aço carbono pintados e com defeito provocado após dois anos de exposição na praia de Atalaia

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Grau de ataque segundo ASTM D1654
ICZ 20 e ICZ21	Marangoni – sist. 1	4 (de 5 a 7mm)
ICZ 23 e ICZ24	Marangoni – sist. 2	6(de 2 a 3 mmm)

ICZ 26 e ICZ27	Marangoni – sist.. 3	5 (de 3 a 5 mm)
ICZ 80 e ICZ81	SW sist. 1	1(13 a 16mm)
ICZ 95 e ICZ96	SW sist. 2	5 (3 a 5mm)
ICZ 110 e ICZ111	SW sist. 3	1 (13 a 16mm)
ICZ 125 e ICZ126	SW sist. 4	5 (3 a 5 mm)
ICZ 140 e ICZ141	SW sist. 5	0 (> 16mm)

Nota: as fotos dos cps podem ser vistas na Tabela 7. Considerou-se a média entre 5 pontos incluindo o de menor e o de maior distância alcançado, a partir da incisão, como balizador da classificação.

Classificação do grau de ataque a partir da incisão pela norma ASTM D1654 nos corpos de prova de aço carbono galvanizados e pintados e com incisão provocada expostos por um ano na Praia de Atalaia, SE

Na tabela 10 são apresentados os corpos de prova de aço galvanizado, pintados e com incisão e a classificação do ataque **após dois anos de exposição** na praia de Atalaia.

Tabela 10 – Classificação do grau de ataque de corpos de prova de **aço galvanizado** pintado e com defeito após **dois anos de exposição** pela norma ASTM D1654

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Grau de ataque segundo ASTM D1654
ICZ 44 e ICZ45	Marangoni – sist. 1/ Armco sem passivação	5 (3 – 5 mm)
ICZ 47 e ICZ48	Marangoni – sist. 2/Armco sem passivação	5 (3 – 5 mm) e 4 (5 – 7 mm)
ICZ 50 e ICZ51	Marangoni – sist. 3/Armco sem passivação	2 (10 – 13mm)
ICZ 59 e ICZ60	Trifer – eletrostática/ Trifer	4 (5 – 7mm)
ICZ 65 e ICZ66	Trifer – eletrostática/ Armco sem passivação	7 (1-2) e 5 (3 – 5mm)
ICZ 74 e ICZ75	SW sist 1 / Armco GJ	6 (2 – 3 mm)
ICZ 89 e ICZ90	SW sist 2 / Armco GJ	8 (0,5 – 1,0 mm)
ICZ 104 e ICZ105	SW sist 3 / Armco GJ	6 (2 – 3mm)
ICZ 119 e ICZ120	SW sist 4 / Armco GJ	7(1 – 2mm)
ICZ 134 e ICZ135	SW sist 5 / Armco GJ	6 (2 – 3mm)
ICZ143	SW sist. 3/Armco lavado + sulfossilano	5 (3 – 5 mm)
ICZ145	SW sist.. 3/ Armco lavado + híbrido	8 (0,5 – 1,0 mm)

Nota –Esta avaliação foi feita com o auxílio de um software de tratamento de imagem.

Considerou-se a média entre 5 pontos incluindo o de menor e o de maior distância alcançado, a partir da incisão, como balizador da classificação.

Os resultados revelam que alguns sistemas aplicados sobre galvanizado apresentaram melhor resultado após dois anos de exposição do que após um ano. Isso pode revelar falta de reprodutibilidade na aplicação do sistema de pintura, gerando corpos de prova que respondem de forma diferente à exposição no mesmo meio agressivo. É o caso da pintura eletrostática da Trifer que apresentou classificação 4 após um ano de exposição e após dois anos, onde se tiraram dois corpos de prova os resultados foram 7 para um cp e 5 para o outro. O sistema 2 da SW apresentou o mesmo comportamento subindo de 5 para 8 após 2 anos de exposição. Neste caso, mesmo com o uso do software, não foi tão fácil definir a área corroída.

Classificação do grau de ataque a partir da incisão pela norma ISSO 4628-8 nos corpos de prova de aço carbono galvanizados e pintados e com incisão provocada expostos por dois anos na Praia de Atalaia, SE

Após dois anos de exposição, os corpos de prova de aço carbono pintado foram avaliados segundo a norma ISO 4628-8 e os resultados da avaliação foram reunidos na Tabela 11.

Tabela 11 – Grau de ataque dos corpos de prova de aço carbono pintados , com defeito, pela norma ISO 4628-8 usando um software IMAGE J 1.5i para tratamento de imagem e obtenção da área atacada ou de destacamento do filme, após dois anos de exposição na praia de Atalaia, SE.

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Área absoluta corroída (cm²)	Área absoluta delaminada (cm²)	Grau de ataque segundo ISO 4628-8	Grau de delaminação segundo ISO 4628-8
ICZ 20	Marangoni – sist. 1	3,687	16,838	G3	G5
ICZ21	Marangoni – sist. 1	3,067	6,847	G3	G5
ICZ 23	Marangoni – sist. 2	3,941	19,151	G4	G5
ICZ24	Marangoni – sist. 2	2,558	6,593	G3	G5
ICZ 26	Marangoni – sist. 3	2,749	10,394	G3	G5
ICZ27	Marangoni – sist. 3	3,593	11,484	G3	G5
ICZ 80	SW sist. 1	10,147	33,59	G5	G5
ICZ81	SW sist. 1	12,702	24,736	G5	G5
ICZ 95	SW sist. 2	5,041	10,62	G4	G5
ICZ96	SW sist. 2	2,815	9,208	G3	G5
ICZ 110	SW sist. 3	9,066	15,153	G5	G5

ICZ111	SW sist. 3	11,876	26,733	G5	G5
ICZ 125	SW sist. 4	1,780	6,341	G2	G5
ICZ126	SW sist. 4	1,90	6,5,76	G2	G5
ICZ 140	SW sist. 5	10,016	26,690	G5	G5
ICZ141	SW sist. 5	8,454	23,595	G5	G5

Um exemplo do uso do software de tratamento de imagem é ilustrado na Figura 1.



Área corroída absoluta: 3,941 cm²

Grau de corrosão: G4

Área de descolamento absoluta: 19.151 cm²

Grau de descolamento: G5

Figura – Aspecto da região de corrosão e de descolamento da tinta e a imagem gerada pelo software que quantifica a área por pixels.

A avaliação dos cps expostos por dois anos revelou que os sistemas 1, 2 e 3 da Marangoni, o sistema 2 e o sistema 4 da SW são os melhores para o aço carbono. Levou-se em conta a área corroída, pois a área de delaminação foi igual para todos os cps de aço carbono pintado. Os piores sistemas foram o sistema 1, o sistema 5 e o sistema 3 da SW.

Classificação do grau de ataque a partir da incisão pela norma ISO4628-8 nos corpos de prova de aço carbono galvanizados pintados, com incisão provocada e expostos por dois anos na Praia de Atalaia, SE

A Tabela 12 apresenta a classificação do ataque segundo a **norma ISO 4628-8** para os corpos de prova de aço carbono galvanizados, pintados e com defeito, fazendo uso de um sistema de tratamento da imagem dos corpos de prova escaneados após remoção da tinta com uso de solventes.

O tratamento de imagens, segundo o previsto pela norma ASTM D7087, realmente melhora e facilita a classificação e comparação entre diferentes sistemas de pintura.

Após **dois anos de exposição**, os corpos de prova de aço carbono galvanizado e pintados foram classificados quanto ao grau de corrosão e área delaminada em torno da incisão com o uso de um formão para a retirada da tinta e usando a norma ISO 4628-8 e um software de tratamento de imagem o IMAGEJ1.5i e os resultados estão reunidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Grau de ataque dos corpos de prova de aço carbono galvanizado pintados, com defeito, pela norma ISO 4628-8 usando um software IMAGE J 1.5i para tratamento de imagem e obtenção da área atacada ou de destacamento do filme, após dois anos de exposição, na praia de Atalaia, SE.

Corpo de prova	Sistema de pintura/tratamento	Área absoluta corroída (cm2)	Área absoluta delamina da (cm2)	Grau de ataque segundo ISO 4628-8	Grau de delamin ação segundo a ISO 4628-8
ICZ 44	Marangoni – sist. 1/ Armco sem passivação	4,356	8,774	G4	G5
ICZ45	Marangoni – sist. 1/ Armco sem passivação	4,579	14,249	G4	G5
ICZ 47	Marangoni – sist. 2/Armco sem passivação	4,116	15,894	G4	G5
ICZ48	Marangoni – sist. 2/Armco sem passivação	3,728	8,600	G4	G5
ICZ 50	Marangoni – sist. 3/Armco sem passivação	12,561	22,072	G5	G5
ICZ 51	Marangoni – sist. 3/Armco sem passivação	14,736	24,163	G5	G5
ICZ 59	Trifer – eletrostática/ Trifer	7,861	8,249	G5	G5
ICZ60	Trifer – eletrostática/ Trifer	8,998	10,575	G5	G5
ICZ 65	Trifer – eletrostática/ Armco sem passivação	0,265	3,063	G1	G3
ICZ 66	Trifer – eletrostática/ Armco sem passivação	1,687	3,832	G2	G4
ICZ 74	SW sist 1 / Armco GJ	0,289	10,189	G1	G5
ICZ75	SW sist 1 / Armco GJ	0,306	8,203	G1	G5
ICZ 89	SW sist 2 / Armco GJ	0,783	12,029	G1	G5
ICZ90	SW sist 2 / Armco GJ	0,770	10,147	G1	G5

ICZ 104	SW sist 3 / Armco GJ	0,551	7,095	G1	G5
ICZ105	SW sist 3 / Armco GJ	0,426	7,609	G1	G5
ICZ 119	SW sist 4 / Armco GJ	0,308	4,845	G1	G4
ICZ120	SW sist 4 / Armco GJ	0,237	5,602	G1	G4
ICZ 134	SW sist 5 / Armco GJ	0,409	7,835	G1	G5
ICZ135	SW sist 5 / Armco GJ	1,374	7,201	G1	G5
ICZ143	SW sist. 3/Armco lavado + sulfossilano	3,228	6,608	G3	G5
ICZ145	SW sist. 3/Armco lavado + híbrido	0,834	8,527	G1	G5

Os resultados após dois anos de exposição mostram que todos os sistemas de pintura da SW apresentaram muito bons resultados, além da pintura eletrostática. Os sistemas da Marangoni não tiveram tão bom resultado para aço galvanizado, tendo apresentado melhor desempenho para aço carbono. Um fato que chama atenção é o dos altos valores de delaminação para a maioria dos sistemas e nesse quesito, o melhor sistema é o sistema 4 da SW.

Nesta avaliação, o tratamento de imagens ajudou, mas há casos de cps onde ainda resta alguma dúvida na determinação da área corroída. A cor cinza clara da última camada de tinta também pode ter contribuído para a confusão entre área corroída e tinta restante na superfície do cp.

O pré-tratamento com sulfossilano piorou o resultado obtido para o sistema 3 de pintura da SW. O pré-tratamento com híbridos não alterou a boa qualidade do sistema 3 e pode ser uma alternativa ao jateamento leve do galvanizado por imersão a quente.

Medida de aderência pelo método de “pull off”

Os cps pintados e sem incisão e que deveriam ser retirados após três anos de exposição foram utilizados para se medir a aderência dos sistemas de pintura sobre os substratos de aço carbono e de aço galvanizado por imersão a quente. Foi seguido o método por resistência à tração indicado na norma ABNT 14653-01 ou ASTM D4541- 02. Os resultados das medidas de adesão foram reunidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados das medidas de aderência pelo método de *pull off* dos sistemas de pintura aplicados sobre aço carbono e aço galvanizado a quente

Amostra	Sistema	Medida de adesão 01 (MPa)	Medida de adesão 02 (MPa)	Adesão média (Mpa)	desvio padrão
ICZ12	AC sist. 1 M	5,2	5,9	5,5	0,5
ICZ15	AC sist. 2 M	5,9	6,1	6,0	0,2
ICZ18	AC sist. 3 M	8,6	9,2	8,9	0,5
ICZ30	AZ sist. 1 M	6,4	6,2	6,3	0,1
ICZ33	AZ sist. 2 M	6,9	6,4	6,7	0,3
ICZ36	AZ sist. 3 M	3,4	5,9	4,7	1,8
ICZ39	AZ M sist. 1 M	6,7	6,0	6,3	0,5
ICZ42	AZ M não p sist. 1	5,7	6,5	6,1	0,6
ICZ54	AZ asp term sist. 1 M	2,4	1,5	2,0	0,6

ICZ57	AZ Trif pó Trif	5,9	11,2	8,6	3,8
ICZ63	AZ Armco pó Trifer	8,2	9,3	8,8	0,8
ICZ69	AZ GJ sist. 1 SW	10,3	13,9	12,1	2,5
ICZ72	AZ GD sist. 1 SW	10,9	11,1	11,0	0,2
ICZ78	AC sist. 1 SW	9,4	9,3	9,4	0,1
ICZ84	AZ GJ sist. 2 SW	9,6	11,2	10,4	1,2
ICZ87	AZ GD sist. 2 SW	10,4	11,1	10,8	0,5
ICZ93	AC sist. 2 SW	9,9	12,5	11,2	1,8
ICZ99	AZ GJ sist. 3 SW	9,1	13,0	11,0	2,7
ICZ102	AZ GD sist. 3 SW	9,1	11,9	10,5	2,0
ICZ108	AC sist. 3 SW	10,6	11,2	10,9	0,4
ICZ114	AZ GJ sist. 4 SW	11,1	9,3	10,2	1,3
ICZ117	AZ GD sist. 4 SW	10,6	8,3	9,5	1,6
ICZ123	AC sist. 4 SW	10,6	8,7	9,7	1,3
ICZ129	AZ GJ sist. 5 SW	10,9	12,1	11,5	0,8
ICZ132	AZ GD sist. 5 SW	10,3	12,6	11,5	1,7
ICZ138	AC sist. 5 SW	9,9	13,3	11,6	2,4
ICZ142	AZ GJ lav fossilano sist. 3 SW	6,3	4,8	5,6	1,0
ICZ144	AZ GJ lav prido sist. 3 SW	10,2	11,2	10,7	0,7

Os resultados elevados de adesão mostram que nem sempre altos valores de aderência garantem bom desempenho com relação à resistência à corrosão, ou vice versa. O menor valor de aderência foi obtido para sist. 3 da Marangoni sobre galvanizado. O maior valor foi obtido para o sistema 5 da SW sobre aço galvanizado.

Conclusões finais

Os resultados do trabalho após a análise dos cps após dois anos de exposição na praia de Atalaia, SE, permitem concluir que:

1) Após dois anos de exposição à beira da Praia de Atalaia, SE, os corpos de prova com sistema duplex, galvanizado por imersão a quente e pintado, mostraram desempenho muito superior aos corpos de prova de aço carbono pintados, pois não apresentaram a ocorrência de corrosão vermelha.

- 2) Entre os sistemas de pintura e tratamentos usados, os melhores para **aço carbono jateado**, após um ano de exposição, foram os sistemas 2 da Marangoni e sistemas 1, 2, 3 e 4 da SW. Os piores foram os sistemas 3 da Marangoni e sistema 5 da SW. A avaliação dos cps expostos por dois anos de exposição revelou que os sistemas 1, 2 e 3 da Marangoni, o sistema 2 e o sistema 4 da SW são os melhores para o aço carbono. Levou-se em conta a área corroída, pois a área de delaminação foi igual para todos os cps de aço carbono pintado. Os piores sistemas foram o sistema 1, o sistema 5 e o sistema 3 da SW.
- 3) Os melhores sistemas de pintura para aço galvanizado foram os sistema 1 e sistema 3 da SW. Os piores foram o sistema 3 da Marangoni e o sistema 2 da SW. Os sistemas da Marangoni não tiveram tão bom resultado para aço galvanizado, tendo apresentado melhor desempenho para aço carbono.
- 4) Os valores de aderência foram elevados para a maioria dos corpos de prova galvanizados e com bom desempenho anticorrosivo. Para aço carbono, a indicação é de que a aderência não é tão importante no desempenho anticorrosivo do sistema de pintura como para o aço galvanizado.
- 5) O tratamento das imagens do escaneamento dos corpos de prova após retirada da tinta, facilitou a classificação e comparação de desempenho entre os sistemas de pintura.
- 6) Os resultados permitiram concluir sobre os melhores pré-tratamentos dos corpos de prova de aço galvanizado que são o jateado leve, o desengraxamento ou o uso de híbrido (silanos à base de epóxi).
- 7) A análise dos corpos de prova após dois anos de exposição foi decisiva para se estabelecer a maior resistência à corrosão dos sistemas de pintura e tratamentos testados.
- 8) Os resultados de aderência, no geral foram bastante elevados para a maioria dos sistemas que apresentaram bom desempenho para aço galvanizado, mas não foram fator determinante no desempenho geral.

Referências bibliográficas

- 1) Schweitzer, P.A. Fundamentals of Corrosion: mechanisms, causes, and preventative Methods. In: New York: Taylor and Francis Group, 2010, p. 416.
- 2) Fazenda, J.M.R. Tintas & Vernizes: Ciência e Tecnologia. In: Blucher (Ed.); **Tintas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: 2009, p. 1146.
- 3) Marcus, P. **Corrosion Mechanisms in Theory and Practice**. 2011.
- oly(urea-formaldehyde) microcapsules filled with epoxy resins. *Materials Chemistry and Physics*, v. 110, n. 2–3, p. 417–425, 2008.
- 4) Edavan, R.P., Kopinski, R. Corrosion resistance of painted zinc alloy coated steels. *Corrosion Science*, 2009.
- 5) Seré, P.R., Deyá, C., Elsner, C.I., Di Sarli, A.R. Behavior of two eco-compatible duplex systems used in the construction industry against corrosion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 50, 1-6, 2014.
- 6) Bragagnolo, G M; Panossian, Z.; Almeida, N L., Almeida, M B, Ferrari, J V, Andreoli, M. C.; Fragata, F. de L. The influence of chromate quenching and chloride contamination level on the performance of the painted hot dipped galvanized steel (duplex system). *J. Coat. Technol. Res.*, 8 (5) 629–638, 2011.

- 7) Francisco, J. ; Capelossi, V. R.; Aoki, I.V. Evaluation of a sulfursilane anticorrosive pretreatment on galvanized steel compared to phosphate under a waterborne epoxy coating. *Electrochimica Acta*, 124: 128-136, 2014.
- 8) ABNT NBR 6209:2007 – Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Ensaio não-acelerado.
- 9) ASTM D1014-09: 2009 - Standard Practice for Conducting Exterior Exposure Tests of Paints and Coatings on Metal Substrates.
- 10) ABNT NBR 6210:2008 – Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão.
- 11) ISO 9223: 2012 - Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation).
- 12) ISO 9226: 2012 - Corrosion of metals and alloys -- Corrosivity of atmospheres -- Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
- 13) ABNT NBR 14643:2001 - Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas.
- 14) ISO 12944- 1 to 6 - Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2:1998 Classification of environments / Part 5: 2007 Protective paint systems.
- 15) ABNT NBR 15877:2010 - Pintura industrial — Ensaio de aderência por tração.
- 16) ISO 4624: 2002 Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion.
- 17) ISO 4628-2:2016 Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance -- Part 2: Assessment of degree of blistering.
- 18) ASTM D1654 - 08 Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments.
- 19) ASTM D610 - 08(2012) Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces