

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

**ENSAIOS DE CAMPO DE SISTEMA DUPLEX (AÇO GALVANIZADO PINTADO)
PARA EMPRESAS DE ÓLEO & GÁS
FIELD TESTS OF DUPLEX SYSTEM (COATED GALVANIZED STEEL) AT
OIL&GAS COMPANY**

¹Ricardo Suplicy de Araujo Goes, ²Renata Yuriko Ogura, ³Paulo Cesar Maziero Tiano, ⁴Celso Gnecco, ⁵Marcelo Schultz da Rocha, ⁶Idalina Vieira Aoki

Abstract

This work was driven by the ICZ – Institute of non-ferrous metals, galvanizing companies, ICZ members, two manufacturers of paints, an Oil and Gas company and the University of São Paulo. The hot-dip galvanized steel and painted, called Duplex System, is used on carbon steel protection against corrosion in environments that feature high aggression as the marine environment, on the basis of the high performance presented due to the synergy between the hot-dip galvanized steel and paint. Some works in the literature have assessed the performance of duplex system through accelerated tests, electrochemical techniques and very few atmospheric exposures. Some assessed the influence of the presence of contaminants on the surface of galvanized steel before painting and the influence of silanes based pretreatments. To meet the goal of these texts, with benchmarking of performance, 239 samples were prepared, for a period of two years (2014-2016) following standard ABNT NBR 6209/2007. According to the latest assessment of December 2015, after one year of exposure, the results showed a classification of severity of C4 for coupons near the beach and C2 for coupons exposed at 500 m from the beach. The galvanized coupons showed different severity as: C5 near the beach and C3 at 500 m from the beach. Duplex system showed high performance levels for corrosion protection without showing signs of red corrosion after 12 months of exposition in a marine atmosphere at Aracaju, SE, Brazil.

Keywords: Duplex System, Hot Dip Galvanizing, pretreatment, marine environment.

¹Engenheiro - Engenheiro Mecânico - ICZ - Instituto de Metais Não Ferrosos

²Engenheira - Engenheira Industrial - Armco Staco Ltda Industria Metalúrgica

³Bacharel - Bacharel em Ciência Química - Industria Elétrica Marangoni Maretti Ltda

⁴Engenheiro - Engenheiro Químico - Sherwin-Williams do Brasil

⁵Mestre - Engenheiro de Corrosão - PETRÓLEO BRASILEIRO S.A, PETRÓLEO BRASILEIRO S.A

⁶Professora Doutora - Docente - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Resumo

Este trabalho foi conduzido pelo ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos, as empresas galvanizadoras associadas ao ICZ, duas empresas fabricantes de tintas, uma empresa do segmento de Óleo & Gás e a Universidade de São Paulo. 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. Alguns trabalhos da literatura avaliaram o desempenho do sistema duplex através de ensaios acelerados, técnicas eletroquímicas e muito poucos por exposição atmosférica. Alguns avaliaram a influência da presença prévia de contaminantes na superfície do aço galvanizado antes de receber pintura e a influência de pré-tratamentos à base silanos.

Para atender o objetivo destes ensaios, com avaliações comparativas de desempenho, utilizaram-se 239 corpos de provas, por um período de dois anos (2014-2016), conforme norma ABNT NBR 6209/2007. Segundo a última avaliação de dezembro/2015 após um ano de exposição, os resultados de perda de massa dos corpos de prova de aço-carbono 1010 permitiram classificar a agressividade do ambiente a 50 m da praia de Atalaia como sendo C4 - severa e a 500 m da praia como C2 – baixa. Os resultados de perda de massa para os corpos de prova de aço galvanizado por imersão a quente permitiram classificar a agressividade do ambiente a 50 m da praia como C5- muito severa e a 500 m da praia como C3- média. Os resultados com os corpos de prova pintados demonstraram o alto desempenho do Sistema Duplex na proteção contra a corrosão, pois os corpos de prova não apresentaram sinais de corrosão vermelha após 12 meses de exposição em atmosfera marinha da Praia de Atalaia, em Aracajú, SE.

Palavras-chave: sistema duplex, galvanização por imersão a quente, pré-tratamentos, ambiente marinho

Introdução

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 [1]. Alguns trabalhos da literatura avaliaram o desempenho do sistema duplex através de ensaios acelerados [2], técnicas eletroquímicas [1,2] e muito poucos por exposição atmosférica. Alguns avaliaram a influência da presença prévia de contaminantes na superfície do aço galvanizado antes de receber pintura [3] e a influência de pré-tratamentos à base silanos[4].

Este trabalho tem o objetivo de apresentar, através de resultados de ensaios de campo por exposição de corpos de prova zincados e/ou pintados, o alto desempenho da tecnologia do aço galvanizado por imersão a quente e do Sistema Duplex (aço galvanizado por imersão a quente pintado) na proteção contra a corrosão do aço-carbono, destacando as aplicações em ambientes agressivos quanto à corrosividade *onshore e offshore*. Avaliar comparativamente as opções de sistemas de pintura base solvente (epóxi isocianato, epóxi poliamina e epóxi poliamida) e tinta acrílica direta no metal (base aquosa e pintura eletrostática a pó) tanto sobre o aço-carbono galvanizado por imersão a quente como sobre o aço-carbono. Avaliar diferentes opções de pré-tratamento de superfície (jateamento abrasivo, desengraxamento e

condicionamento de superfícies com manta não tecida de fibras sintéticas, impregnadas com materiais abrasivos, sulfossilano e revestimento híbrido) para obter uma adequada aderência da tinta e evitar o uso de cromato na etapa de passivação do processo da galvanização por imersão a quente, por ser considerado tóxico e cancerígeno. Estão também em avaliação corpos de prova de barras de aço (vergalhões), com e sem galvanização, destinadas à armadura de concreto armado, embebidas no concreto, que terão seu desempenho avaliado conforme a norma ASTM C 876, válida para aço-carbono sem revestimento, onde é medido o potencial de corrosão contra o eletrodo de referência Cu/CuSO₄ saturado. O potencial dos vergalhões galvanizados também será medido, mas apenas como dado referencial, uma vez que não há norma para comparação. Assim, pretende-se contribuir com informações que implicarão no aumento da vida útil de estruturas de aço-carbono, reduzindo os custos de manutenção das mesmas.

Metodologia

Para atender o objetivo destes ensaios, com avaliações comparativas de desempenho, utilizaram-se 239 corpos de provas, detalhados abaixo, instalados em painéis de exposição atmosférica, por um período 6 meses, 12 meses, 18 meses e 24 meses (2014-2016), conforme norma ABNT NBR 6209/2007.

Os corpos de provas foram instalados na região da praia de Atalaia-Unidade Petrobras-Aracaju/Sergipe.

No sentido de se caracterizar os diferentes ambientes em relação à proximidade do mar e influência das velocidades dos ventos, os corpos de prova em aço-carbono ABNT 1010 e os em aço-carbono 1010 galvanizados por imersão a quente foram instalados em dois locais. Veja figura 01 abaixo:

- A 50 m da praia, de frente para o mar, painéis 01,02 e 03, conforme figuras 02,03, 04 e 05 abaixo;
- A 500 m da praia, interior, na região denominada UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural painéis A, com corpos de provas em aço-carbono e C, com corpos de provas em aço galvanizado, conforme figura 06;
- Os 20 corpos de provas de concreto, com de barras de aço, com e sem galvanização, embebidos em concreto e a 50 m da praia, apresentado nas figuras 07 e 08.

Os corpos de provas estão sendo avaliados pelas taxas de corrosão em comparação com as taxas especificadas conforme a norma ABNT NBR 14643 (baseada na ISO 9223:1992) – Corrosão Atmosférica – Classificação da Corrosividade de Atmosferas.

Os corpos de prova de barras de aço (vergalhões) destinadas à armadura de concreto armado embebidas no concreto estão tendo seu desempenho avaliado conforme a norma ASTM C 876, válida para aço-carbono sem revestimento, onde é medido o potencial de corrosão contra o eletrodo de referência Cu/CuSO₄ saturado. O potencial dos vergalhões galvanizados também está sendo medido, mas apenas como dado referencial, uma vez que não há norma para comparação.

As características do concreto utilizado são as seguintes: utilizado brita de granulometria zero, sem adição de qualquer aditivo e foram utilizados dois valores de relação água/cimento: 0,4 e 0,6, com pH 12,5.

Os corpos de prova pintados estão sendo avaliados segundo a norma ASTM12944.

Foram utilizados 199 corpos de prova de aço-carbono ABNT 1010 sendo o tipo de tratamento e número apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de materiais, tratamentos e número de corpos de prova empregados

Material do corpo de prova	Quantidade
Aço-carbono	30
Aço-carbono galvanizado	33
Aço-carbono galvanizado por imersão a quente pintado - Sistema Duplex.	78
Aço-carbono galvanizado por imersão a quente (não passivado) pintado - Sistema Duplex.	3
Aço-carbono galvanizado por imersão a quente pintado - Sistema Duplex com pré tratamento baseado em sulfossilano.	2
Aço-carbono galvanizado por imersão a quente pintado - Sistema Duplex com pré-tratamento baseado em híbrido a base de silanos.	2
Aço-carbono pintado com as diferentes opções de sistemas de pinturas.	48
Aço-carbono revestido com zinco pelo processo de metalização.	3



Figura 01 – Visão Geral dos corpos de provas de frente para o mar.



Figura 02 – Visão Geral Painel 01/Aços pintados de frente para o mar.



Figura 03 – Visão Geral Painel 02/Aços pintados de frente para o mar.



Figura 04 – Visão Geral Painel 03/Aços pintados de frente para o mar.



Figura 05 – Visão Geral Painéis B e D/Aços-carbono e galvanizados de frente para o mar.



Figura 06 – Visão Geral Painéis A e C/Aços carbono e galvanizados a 500 m da praia, na região da UPGN.



Figura 07 – Corpos de provas de vergalhões em aço “preto” (sem galvanização) embebidos no concreto.



Figura 08 – Corpos de provas de vergalhões em aço galvanizado embebidos no concreto.

Neste trabalho destacamos a 4ª avaliação visual nos corpos de provas foi realizada em 10/12/15, após o período de 12 meses (instalação inicial realizada em 28/11/14). Condições Climáticas: Tempo bom com sol. Apresentamos alguns resultados realizados com seis meses de exposição apenas como referência.

Como esta 4ª avaliação é a primeira anual, foram retirados 61 corpos de provas, descritos abaixo, para avaliação laboratorial pela Prof.^a Idalina Vieira Aoki da USP, visando diagnosticar a corrosividade do ambiente e a performance quanto à proteção contra a corrosão.

Corpos de provas retirados:

- Painel B Praia – Aço-carbono - 03: ICZ 01.18, 01.19 e 01.20;
- Painel D Praia – Aço-carbono Galvanizado - 03: ICZ 02.11, 02.12 e 02.13;
- Painel 1 Praia – Aço-carbono Pintado e Aço-carbono Galvanizado Pintado:
 Todos os 44 corpos de prova abaixo:
 - ICZ 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 70, 73, 76, 79, 82, 85, 88, 91, 94, 100, 103, 106, 109, 112, 115, 118, 121, 124, 130, 133, 136, 139, 37, 67, 97 e 127.
- Painel A UPGN – Aço-carbono - 03: ICZ 01.03, 01.04 e 01.05;
- Painel C UPGN – Aço-carbono Galvanizado – 03: ICZ 02.02, 02.03 e 02.04;
- 05 corpos de prova de vergalhões embebidos em concreto, sendo 02 de aço-carbono, 02 de aço-carbono galvanizado por imersão a quente e 01 de aço-carbono metalizado com zinco foram expostos a 50 m da praia.

A limpeza dos corpos de provas em aço-carbono e aço-carbono galvanizado por imersão a quente foi realizada conforme a norma ASTM G1 – 03 (2011) anexo A1 Processos de limpeza química. Para a limpeza dos corpos de prova de aço carbono foi empregada solução de Clarke e para os a limpeza dos corpos de prova de aço galvanizado foi empregada a solução de NH_4Cl (100g/L). Foram realizadas avaliações de perda de massa dos corpos de provas retirados, listados acima, conforme a norma ASTM G1 – 03 (2011). Corpos de prova “brancos”, que não foram expostos, foram colocados na solução de limpeza pelo mesmo tempo para retirada de todos os produtos de corrosão e a perda de massa registrada foi usada para correção da perda de massa de cada corpo de prova.

Os resultados após um ano de exposição permitiram classificar a agressividade do meio nos dois locais de exposição, onde a maior agressividade foi encontrada no local mais próximo à praia.

As análises laboratoriais permitiram a determinação da velocidade de corrosão dos corpos de prova em termos de ganho de massa, perda de massa e perda de espessura e assim definir a categoria de corrosividade do ambiente, conforme a norma ISO 9223.

Resultados e discussões

Os corpos de provas em aço-carbono do painel B - localizados a 50 m da praia, ICZ 01.16 e ICZ 01.17, foram retirados com 6 meses de exposição e os corpos de prova ICZ 01.18, 01.19 e 01.20 foram retirados com 12 meses de exposição, para análise laboratorial. Os resultados apresentados na Tabela 2, após 12 meses, permitem classificar a categoria de agressividade do ambiente perto da praia como C4 – severa, segundo a norma ISO9223.

Tabela 2 – Resultados de velocidade de corrosão para os corpos de prova de aço-carbono expostos no painel B – a 50 m da praia.

Período de exposição	Corpos de prova aço carbono a 50 m da praia	Perda de espessura	Velocidade por ganho de massa rgm (corr)	Velocidade por perda de massa r (corr)
		$\mu\text{m/ano}$	$\text{mg}/(\text{m}^2.\text{ano})$	$\text{g}/(\text{m}^2.\text{ano})$
223 dias (\approx 1/2 ano)	ICZ.01.16	51,66	1113,8	406,5
	ICZ.01.17	51,91	1119,2	408,5
377 dias (\approx 1ano)	ICZ.01.18	62,01	1337,0	488,0
	ICZ.01.19	54,74	1180,3	430,8
	ICZ.01.20	58,59	1263,4	461,1

Os corpos de provas em aço-carbono do painel A localizados na região da UPGN, a 500 m da praia, ICZ 01.01 e ICZ 01.02, foram retirados com 6 meses de exposição e os corpos de prova ICZ 01.03, 01.04 e 01.05 foram retirados após 12 meses, para análise laboratorial. Os resultados apresentados na Tabela 3, após 12 meses de exposição, permitem classificar a categoria de agressividade do ambiente a 500 m da praia como C2 – baixa.

Tabela 3 - Resultados de velocidade de corrosão para os corpos de prova de aço-carbono expostos no painel A – a 500 m da praia.

Período de exposição	Corpo de prova aço carbono UPGN a 500 m da praia	Perda de espessura	Velocidade por ganho de massa r _{gm (corr)}	Velocidade por perda de massa r _(corr)
		µm/ano	mg/(m ² .ano)	g/(m ² .ano)
223 dias (≈ 1/2 ano)	ICZ.01.01	24,05	518,6	189,3
	ICZ.01.02	23,89	515	188
377 dias (≈ 1ano)	ICZ.01.03	24,08	519,3	189,5
	ICZ.01.04	20,73	446,9	163,1
	ICZ.01.05	21,76	469,2	171,3

Para os corpos de provas de aço-carbono galvanizados por imersão a quente, foram realizadas as mesmas análises laboratoriais, isto é, de determinação da velocidade de corrosão do aço por ganho de massa, perda de massa e perda de espessura e assim poder definir a categoria de corrosividade do ambiente, conforme a norma ISO 9223.

Os resultados de perda de massa durante a limpeza dos corpos de prova expostos nos dois locais (a 50 m e a 500 m da praia) são mostrados na Figura 9.

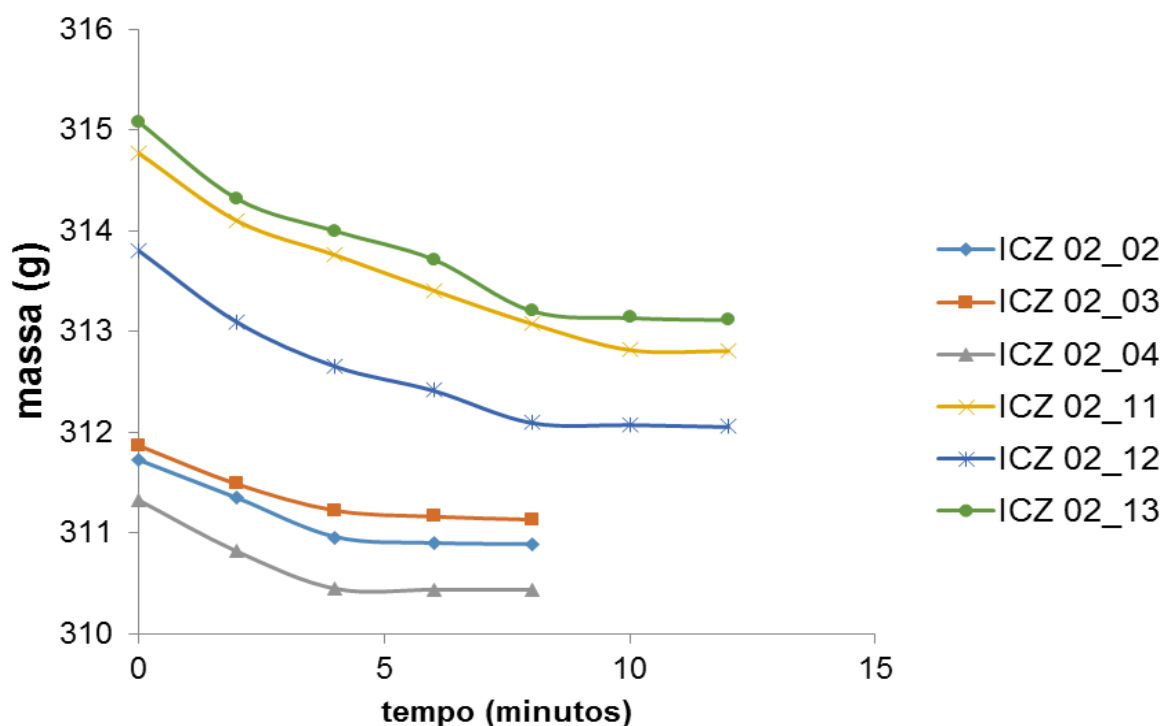


Figura 9 - Variação da massa dos corpos de prova durante a decapagem de aço galvanizado em solução de NH_4Cl à 70°C .

Os resultados dos corpos de provas localizados a 50 m da praia estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de velocidade de corrosão para os corpos de prova de aço-carbono galvanizados por imersão a quente expostos no painel B – a 50 m da praia.

Período de exposição	Corpo de prova aço carbono galvanizado por imersão a quente a 50 m da praia	Perda de espessura	Velocidade por ganho de massa rgm (corr)	Velocidade por perda de massa r (corr)
		µm/ano	mg/(m ² .ano)	g/(m ² .ano)
377 dias (≈ 1ano)	ICZ.02.11	4,47	87,46	31,92
	ICZ.02.12	3,89	76,06	27,76
	ICZ.02.13	4,83	94,4	34,46

Os resultados da Tabela 4 permitem concluir que a agressividade desse ambiente a 50 m da praia pode ser classificada como C5 – muito severa.

Os resultados dos corpos de provas localizados na área da UPGN, a 500 m da praia são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados de velocidade de corrosão para os corpos de prova de aço carbono galvanizados por imersão a quente e expostos no painel A – a 500 m da praia

Período de exposição	Corpo de prova aço carbono galvanizado por imersão a quente - UPGN a 500 m da praia	Perda de espessura	Velocidade por ganho de massa rgm (corr)	Velocidade por perda de massa r (corr)
		µm/ano	mg/(m ² .ano)	g/(m ² .ano)
377 dias (≈ 1ano)	ICZ.02.02	1,98	38,64	14,1
	ICZ.02.03	1,32	25,76	9,4
	ICZ.02.04	1,99	38,84	14,18

Os resultados da Tabela 5 permitem concluir que a agressividade deste ambiente a 500 m da praia pode ser classificada como C3 - média.

A agressividade medida pelo aço galvanizado 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.



06 meses de exposição



12 meses de exposição

Figura 10 – Aço-carbono Galvanizado – corpo de prova ICZ 04.07 – Detalhe da incisão.

Aqui destacamos que os corpos de provas de aço galvanizados receberam uma camada de 100 μm de zinco, em média. Como exemplo, após 12 meses de exposição, a espessura da camada de zinco do corpo de prova ICZ 04.07, ilustrado, acima, na figura 10, registrou 133 μm , em função do aumento da espessura pela formação de carbonato de zinco, resultado do processo de passivação temporária do revestimento.

Após doze meses de exposição os corpos de prova de aço-carbono galvanizados e pintados e com defeito se mostraram isentos de produtos de corrosão na região da incisão. Foi comprovada a superioridade do sistema galvanizado frente ao aço-carbono apenas pintado, conforme apresentado nas figuras 11 a 14, com corpos de prova com incisão neste período de doze meses de exposição.



06 meses de exposição



12 meses de exposição

Figura 11 – Aço-carbono jateado pintado (tinta epóxi óxido de ferro micáceo – corpo de prova ICZ124);



06 meses exposto



12 meses exposto

Figura 12 – Aço-carbono pintado (tinta base aquosa – corpo de prova ICZ26);



Figura 13 – Aço-carbono galvanizado pintado (tinta eletrostática a pó – corpo de prova ICZ65);



Figura 14 – Aço-carbono galvanizado pintado (tinta epóxi Damp Tolerant) com pré-tratamento à base sulfossilanos – corpo de prova ICZ 143.

Destacamos ainda que na finalização dos ensaios, previstos para o mês de dezembro/2016, serão realizados nos corpos de prova de aço pintados e nos galvanizados pintados, testes de aderência por tração (pull-off) segundo a norma ISO 4624 e penetração de corrosão nos entalhes segundo a norma ASTM D 1654, determinação de bolhas segundo a norma ASTM D 714 ou ISO 4628 – 2 e ocorrência de ferrugem segundo ASTM D 610.



Figura 15 – Painel 03 de frente para a praia com corpos de provas em aço pintado e 03 (três) corpos de provas em aço galvanizado (no círculo vermelho).

A Figura 15 apresenta o painel 03 a 50 m da praia com corpos de provas em aço pintado e 03 (três) corpos de provas em aço galvanizado, podendo-se destacar no círculo vermelho os corpos de prova galvanizados, que não apresentaram sinais de presença de produtos de corrosão vermelha após 12 meses de exposição, bem como os corpos de prova galvanizados do painel D apresentados na Figura 16 e 17.



Figura 16 – Painel D a 50 m da praia com corpos de provas em aço-carbono galvanizado.



Figura 17 – Painel C a 500 m da praia, na região denominada UPGN - Unidade de Processamento de Gás Natural, com corpos de provas em aço-carbono galvanizado.

Destaca-se que os corpos de prova em aço-carbono galvanizado por imersão a quente apresentados nas Figuras 16 e 17, também não apresentaram sinais de corrosão vermelha, após doze meses de exposição.

CORPOS DE PROVA DE BARRA DE AÇO PRETO E GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE EMBEBIDOS NO CONCRETO ARMADO.

Foram realizadas medidas de potencial nos 8 corpos de prova embebido em concreto (4 vergalhões galvanizados, ilustrados na figura 18 e 4 pretos, ilustrados na figura 19), com vergalhão galvanizado com comprimento de 500 mm, e destes 100 mm expostos ao ambiente, fora do concreto.

Conforme a norma ASTM C 876, valores menores que -350 mV em relação ao eletrodo de Cu/CuSO₄ sat (isto é -400 mV, -500 mV) já indicam 90 % de probabilidade de corrosão. Para valores entre 200 mV e 350 mV o processo de corrosão é incerto. Para valores maiores que -200 mV (isto é -150 mV, -100 mV) há 90 % de probabilidade de corrosão.

Como a norma ASTM C 876 é válida apenas para aço-carbono sem revestimentos, apenas para acompanhamento e referência, realizamos as medidas nos vergalhões galvanizados cujos valores não podem ser analisados conforme normas. Portanto, conforme tabela abaixo, notamos que os 4 vergalhões pretos apresentaram valores entre -350 mV e 200 mV, demonstrando que a corrosão é incerta nestes 12 meses de avaliação. Os corpos de prova serão partidos para a constatação de se realmente os vergalhões estão, ou não, corroídos.

Medida de Potencial mV em relação ao Cu/CuSO ₄ dos VERGALHÕES EM CONCRETO ARMADO							
Local	Item	Corpo de Prova ACG	Relação água/cimento	Dia da medição (mV em relação ao Cu/CuSO ₄)			
				05.03.15	09.07.15	24.09.15	10.12.15
Praia (a 50 m)	1	Vergalhão Galvanizado G (0) (4º LE de frente)	0,6	-786	-897	-675	-689
				-788			
	2	Vergalhão Galvanizado (3º LE de frente)	0,4	-793	-789	-759	-535
				-793			
	3	Vergalhão Galvanizado (2º LE de frente)	0,4	-745	-817	-558	-577
				-746			
	4	Vergalhão Galvanizado (1º LE de frente)	0,4	-770	-824	-727	-747
				-771			
5	Vergalhão Preto (4º LE de frente)	0,4	-401	-388	-307	-299	
			-402				
6	Vergalhão Preto (3º LE de frente)	0,4	-368	-327	-209	-213	
			-369				
7	Vergalhão Preto (2º LE de frente)	0,4	-396	-357	-234	-230	
			-397				
8	Vergalhão Preto - P (0) (1º LE de frente)	0,6	-330	-291	-236	-207	
			-331				

Observa-se que com o passar do tempo os valores ficaram mais positivos, indicando o estado passivo do aço embebido em concreto. O mesmo ocorreu para os vergalhões de aço galvanizado, indicando que estes também se passivaram no concreto.



Figura 18 – Vergalhão galvanizado por imersão a quente embebido no concreto.



Figura 19 – Vergalhão preto embebido no concreto.

Conclusões

Após 12 meses de exposição atmosférica dos corpos de provas de aço-carbono nos dois locais, foi possível classificar os ambientes em de agressividade C2 – baixa (a 500 m da praia – UPGN), e C4 – severa (a 50 m da praia). Demonstrou-se que o desempenho do sistema duplex, aço galvanizado por imersão a quente e pintado, com relação à proteção contra a corrosão apresentou resultados superiores aos dos aços-carbono pintados. Nenhum dos corpos de prova do Sistema Duplex demonstra sinais de destacamento da tinta na região da incisão na tinta, mas o mesmo não se pode afirmar sobre os corpos de prova de aço pintados, o que comprova a superioridade do sistema duplex.

A severidade dos ambientes segundo a exposição dos corpos de prova de aço galvanizado foi classificada como C3- média (a 500 m da praia – UPGN) e C5 – muito severa (a 50 m da praia) em vista de se tratar de zinco depositado por imersão a quente e não zinco laminado em forma de chapas.

Referências bibliográficas

- 1) Edavan, R.P., Kopinski, R. Corrosion resistance of painted zinc alloy coated steels. Corrosion Science, 2009.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.

-
- 5) ABNT NBR 6209:2007 – Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Ensaio não-acelerado.
 - 6) ASTM D1014-09: 2009 - Standard Practice for Conducting Exterior Exposure Tests of Paints and Coatings on Metal Substrates.
 - 7) ABNT NBR 6210:2008 – Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão.
 - 8) ISO 9223: 2012 - Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation).
 - 9) ISO 9226: 2012 - Corrosion of metals and alloys -- Corrosivity of atmospheres -- Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
 - 10) ABNT NBR 14643:2001 - Corrosão atmosférica - Classificação da corrosividade de atmosferas.
 - 11) 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.
 - 12) ABNT NBR 15877:2010 - Pintura industrial — Ensaio de aderência por tração.
 - 13) ISO 4624: 2002 Paints and varnishes - Pull-off test for adhesion.
 - 14) 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.
 - 15) ASTM D1654 - 08 Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments
 - 16) ASTM D610 - 08(2012) Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces