

# INFLUÊNCIA DE MANCHAS NA SUPERFÍCIE DA CAMADA DE ZINCO NA FOSFATIZAÇÃO, PINTURA E RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS GALVANIZADOS

Egnalda Pereira da Silva Pimenta<sup>1</sup>Evandro de Azevedo Alvarenga<sup>2</sup>

## Resumo

Os óleos protetivos temporários e os processos de oxidação podem causar manchas na superfície dos aços revestidos com zinco. Essas manchas têm forte impacto visual e, como nem sempre os pré-tratamentos são capazes de removê-las, a aplicação industrial de aços com manchas fica prejudicada, pois podem comprometer os processos de fosfatização e de pintura. Para investigar essa influência foram realizadas simulações em laboratório de manchamento da camada de zinco de aços eletro galvanizados e galvanizados a quente (*hot dip galvanized*) decorrente de reações com óleo protetivo temporário e com a umidade durante estocagem. Amostras com e sem manchas foram processadas em linha de pintura industrial automotiva. Observou-se que as manchas decorrentes da reação com óleo protetivo não alteraram a morfologia da camada de fosfato e o aspecto final da película seca de tinta. Contudo, as manchas decorrentes de oxidação da camada de zinco modificaram a morfologia da camada de fosfato e o aspecto final da película seca de tinta. Verificou-se, também, que a oxidação da camada de zinco pode comprometer à resistência à corrosão do aço.

**Palavras-chave:** Aço galvanizado; Manchas; Corrosão.

## THE PHOSPHATIZATION, PAINTING AND CORROSION RESISTANCE OF GALVANIZED STEELS WITH STAINS ON THE SURFACE

### Abstract

The temporary protective oils and the oxidation processes can cause stains on the surface of zinc coated steels. These stains have a strong visual impact and cannot always be removed by the phosphatization pre-treatments. Because of this, the industrial application of these steels may be damaged. In order to investigate these effects laboratory simulations of the zinc layer staining were performed on electrogalvanized and hot dip galvanized steels, using the reactions with temporary protective oil and with atmospheric moisture during storage. Samples with and without stains were processed at an automotive painting line. It was observed that stains from the reaction with temporary protective oil do not affect the phosphate layer morphology and final appearance of the dry paint film. However, the stains due to the oxidation of the zinc layer affect the phosphate layer morphology and the final appearance of the dry paint film. It was also found that the oxidation of zinc layer can impair the corrosion resistance of the steel.

**Key words:** Galvanized steel; Stains; Corrosion.

### I INTRODUÇÃO

Tem-se observado que alguns óleos protetivos temporários aplicados nos aços revestidos com zinco podem, dependendo de sua quantidade, da composição química e do teor de água, provocar manchas na camada de zinco. O tempo e as condições de transporte e de estocagem também podem contribuir para o manchamento do revestimento metálico. Essas manchas têm como principal origem a formação de compostos de espessura

muito fina. Contudo, causam impacto visual muito forte, o que, normalmente, leva os usuários a recusarem o material. Geralmente, os pré-tratamentos não são capazes de remover essas manchas.

Outra causa de mancha na superfície de aços galvanizados é a oxidação do revestimento metálico decorrente de umidade e temperatura durante o transporte e o armazenamento.

<sup>1</sup>Engenheira Química, M.Sc., Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

Av. Pedro Linhares Gomes, 5.431, Bairro Usiminas, Cep 35160-900, Ipatinga, MG, Brasil. E-mail: egnalda.pimenta@usiminas.com

<sup>2</sup>Engenheiro Químico, Dr., CQE/ASQ, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG, Brasil.

Av. Pedro Linhares Gomes, 5.431, Bairro Usiminas, Cep 35160-900, Ipatinga, MG, Brasil. E-mail: evandro.alvarenga@usiminas.com

As manchas, nesse caso, apresentam cor branca (oxidação branca). Na presença de cromato e em atmosferas com alto teor de  $\text{SO}_2$  a camada de óxido, originalmente branca, pode assumir cor cinza escuro.<sup>(1-4)</sup>

O objetivo desse estudo é investigar a influência de manchas superficiais eventualmente presentes nos aços galvanizados nos processos de fosfatização e de pintura e na resistência à corrosão desses aços com sistema de pintura automotivo completo. Muitas vezes esses produtos são descartados pelos usuários por não haver base de conhecimentos que sustente a opção pela sua utilização.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os aços estudados foram o eletro galvanizado (EG) e o galvanizado a quente por imersão (GI) produzidos em escala industrial na Usiminas. Os substratos metálicos dos aços eram do tipo acalmados ao alumínio C-Mn (C = 0,002-0,043% e Mn = 0,10-0,28%). Todos foram cortados em corpos de prova com dimensões de 100 mm x 150 mm.

Os dois tipos de manchas que geralmente ocorrem na superfície dos aços galvanizados oleados foram obtidos em laboratório pela resinificação de óleos protetivos temporários e oxidação da camada de zinco.

Para simulação de manchas provenientes de óleo utilizou-se um óleo protetivo temporário comercial com adição de 3% de água. Os corpos de prova foram imersos nessa emulsão, deixados escorrer por 24 horas e, em seguida, empilhados, dando origem a fardos. Esses fardos foram expostos em câmara com umidade saturada e temperatura de 50°C por cerca de 30 dias. Semanalmente era feita inspeção visual para verificação da ocorrência de manchas por resinificação e, em caso positivo, o corpo de prova era recolhido para avaliação posterior.

Para promover manchas devido à oxidação branca, os corpos de prova foram expostos em câmara com umidade relativa de 90% e temperatura de 50°C. Uma semana foi suficiente para a ocorrência da corrosão branca.

Os corpos de prova com a camada de zinco manchada foram numerados e fotografados para a exata identificação, após fosfatização e pintura, das regiões com manchas. Em seguida, foram desengraxados, fosfatizados e pintados em linha industrial automotiva. Os corpos de prova foram processados em três condições: sem manchas, com manchas provenientes de óleo protetivo e com oxidação sendo denominados normais, manchados e oxidados, respectivamente.

Entre as etapas de desengraxamento/fosfatização e fosfatização/pintura foram recolhidos corpos-de-prova para a avaliação da eficiência do desengraxamento e caracterização da camada de fosfato. A eficiência do desengraxamento foi medida determinando-se o teor de resíduo oleoso superficial na camada de zinco, por meio do equipamento LECO RC 412. No caso da caracterização da camada de fosfato, compreendeu a determinação de sua massa, composição química, morfologia, tamanho dos cristais de fosfato e fases presentes, em regiões com e sem manchas na camada de zinco dos aços.

Após a pintura final, foram feitas avaliações da película seca de tinta e testes acelerados de corrosão. A película seca de tinta foi avaliada quanto à espessura e à aderência. A espessura foi medida utilizando-se um medidor por indução magnética *Fischerscope MMS* da Fischer, de acordo com a norma NBR 10443.<sup>(5)</sup> A aderência foi determinada pelo método de corte em grade, conforme norma NBR 11.003,<sup>(6)</sup> e pelo método de tração (*pull-off*), com base na norma ISO 4624.<sup>(7)</sup> Os testes acelerados de corrosão foram o Ciclado I,<sup>(8)</sup> o SAE J2334<sup>(9)</sup> e o ISO 11474.<sup>(10)</sup>

- Ciclado I: consiste na exposição dos corpos de prova em câmara de testes onde recebem no 1º dia a aspersão de solução salina de NaCl a 5% p/v e a 35°C ± 2°C, durante 24h. Do 2º ao 5º dias, os corpos de prova ficam expostos durante 8h a umidade maior do que 95% e a 40°C ± 3°C. Em seguida, a câmara de teste é desligada e aberta, permanecendo os corpos de prova na condição ambiente durante 16h. Nos 6º e 7º dias os corpos de prova voltam a ficar expostos em ambiente de laboratório com a câmara desligada e aberta;
- SAE J2334: do 1º ao 5º dias os corpos de prova ficam expostos a câmara úmida saturada a 50°C ± 2°C por 6 horas, a névoa salina mista (0,5% p/v de NaCl, 0,1% p/v de CaCl<sub>2</sub> e 0,075% p/v de NaHCO<sub>3</sub>) à temperatura ambiente por 15 minutos e em câmara seca (50% ± 5%; 60°C ± 2°C) por 17h e 45 minutos. Nos 6º e 7º dias os corpos de prova permanecem em câmara seca (50% ± 5%; 60°C ± 2°C); e
- ISO 11474: os corpos de prova são expostos ao intemperismo natural recebendo aspersão de solução de NaCl a 5% p/v duas vezes por semana.

A avaliação dos corpos de prova consistiu na medição do avanço médio da corrosão, de acordo com a norma NBR 8754.<sup>(11)</sup>

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização da Camada de Zinco

As manchas, por resinificação do óleo protetivo e por oxidação, exerceram forte impacto visual na camada de zinco, conforme mostrado na Figura 1.

Observa-se, na Figura 2a, que inicialmente o revestimento metálico do aço eletrogalvanizado na condição normal era composto por cristais de zinco pequenos, hexagonais e orientados aleatoriamente. A camada de zinco do aço galvanizado a quente, também na condição normal, era formada por cristais de zinco grandes e tipicamente constituídos da fase *eta* (zinco hexagonal) (Figura 2d).

Após o manchamento com óleo não foram observadas alterações significativas na camada de zinco dos aços via microscópio eletrônico de varredura (Figuras 2b e 2e). Contudo, no caso dos aços oxidados, não era possível identificar com clareza os cristais de zinco (Figura 2c e 2f). Verificou-se, por meio da técnica de difratometria de raios X, a presença de óxido de zinco e de carbonato hidratado de zinco na superfície dos aços oxidados, como mostrado na Tabela 1. O óxido de zinco é o produto de corrosão inicial dos aços revestidos e, à medida que esse processo evolui, forma-se o carbonato de zinco que é uma camada protetora do revestimento, o que pode prejudicar os processos posteriores do aço (como a pintura).

Os compostos indicados na Tabela 1 são produtos de corrosão, normalmente, obtidos quando a camada de zinco é exposta a umidade atmosférica, durante o transporte ou estocagem. Assim, para se evitar essa oxidação, deve-se aplicar óleos protetivos de boa qualidade ou manter o material em locais aclimatizados.

### 3.2 Avaliação do Desengraxamento dos Aços

Os teores de resíduo oleoso nas condições normal e manchado ( $5 \text{ mg/m}^2$ ) obtidos para o aço EG estão de acordo com o valor considerado ideal para o bom desempenho de um sistema de pintura automotivo ( $< 8 \text{ mg/m}^2$ ),<sup>(12)</sup> enquanto que, para o aço GI, este teor está um pouco acima do ideal, mas aceitável industrialmente (Tabela 2). Portanto, pode-se inferir que o desengraxamento

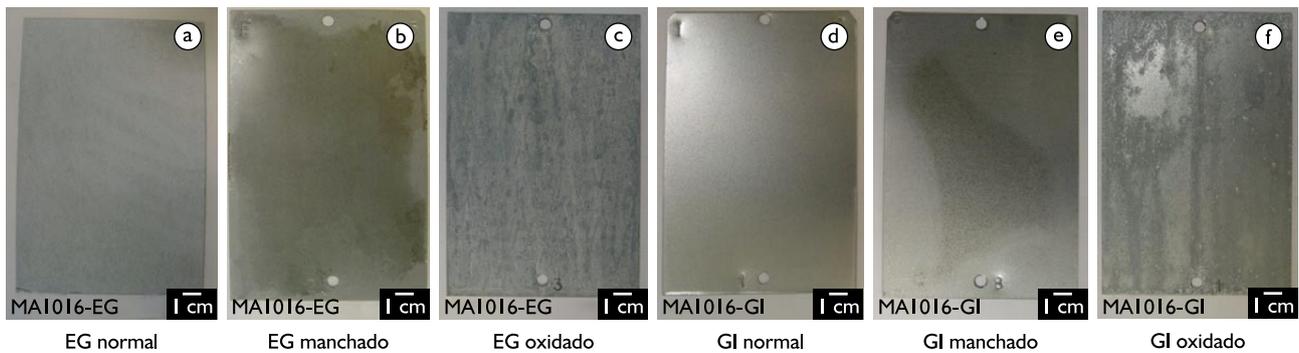


Figura 1. Aspecto das superfícies dos aços galvanizados, antes e após os manchamentos.

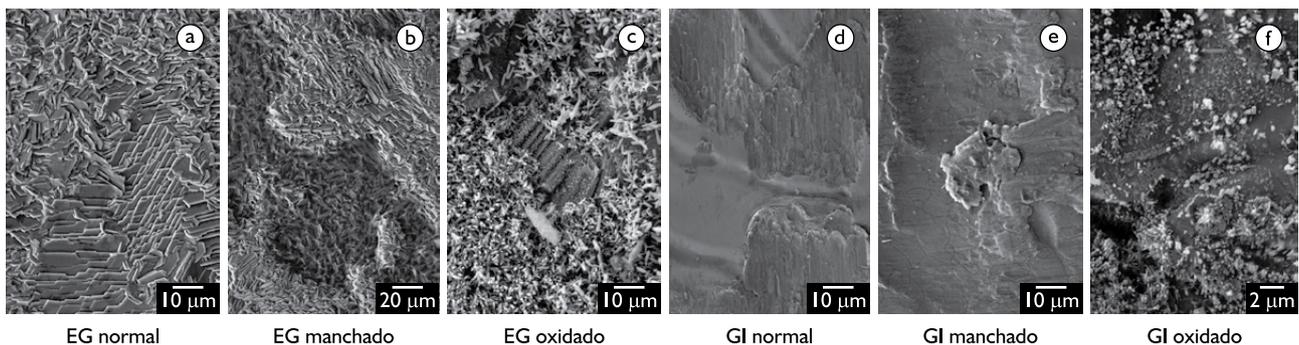


Figura 2. Aspectos típicos das camadas de zinco de aços eletrogalvanizado e galvanizado a quente, antes e após manchamento ou oxidação em laboratório.

Tabela 1. Principais compostos identificados nas camadas de zinco com e sem manchas por difratometria de raios X, com suas respectivas contagens

Compostos	Aço eletrogalvanizado			Aço galvanizado a quente		
	Normal	Manchado	Oxidado	Normal	Manchado	Oxidado
ZnO			1753			4022
ZnCO <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> .H <sub>2</sub> O	Não detectado		368	Não detectado		595

industrial praticado foi eficiente na limpeza da superfície da camada de zinco dos aços nas condições normal e manchado. Contudo, na condição oxidado, os dois aços apresentaram resíduo oleoso muito acima do considerado ideal. Esse comportamento está relacionado às características morfológicas da camada de óxido formada, que serviram como sítios retentores de óleo, dificultando a sua remoção durante o desengraxamento.

**Tabela 2.** Resultados da determinação de resíduo oleoso na superfície da camada de zinco

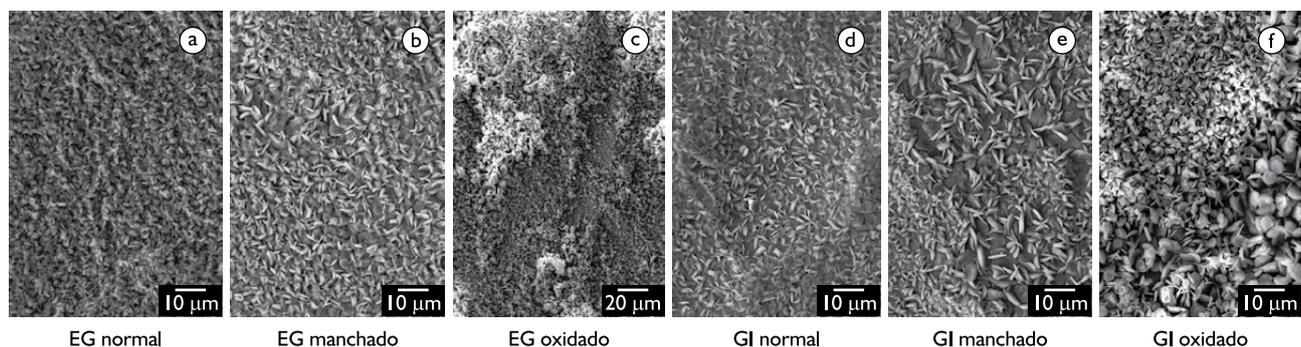
Condição da superfície do aço	Resíduo oleoso (mg/m <sup>2</sup> )	
	Eletro galvanizado	Galvanizado a quente
Normal	5,0 ± 1,0	11,0 ± 1,0
Manchado	5,0 ± 1,0	8,6 ± 2,3
Oxidado	175,7 ± 14,9	107,5 ± 40,0

### 3.3 Caracterização da Camada de Fosfato

Não foram verificadas diferenças significativas entre as massas das camadas de fosfato dos aços normais e manchados, sendo obtidos valores em torno de 3 g/m<sup>2</sup>, que é o valor tipicamente o utilizado pela indústria automotiva, conforme apresentado na Tabela 3. Também, não há alterações na morfologia das camadas de fosfato dos aços nessas condições que eram compostas por cristais na forma de pétalas e de aspecto e tamanho uniformes (Figuras 3a, 3b, 3d e 3e).

No caso dos aços oxidados, as suas massas de camadas de fosfato estão muito acima dos valores praticados pela indústria automobilística (Tabela 3). Massas de camadas de fosfato muito baixas podem causar problemas de porosidade e muito altas fragilidade nos cristais de fosfato e, conseqüentemente, falta de aderência da película seca de tinta,<sup>(8)</sup> o que ocorreu no presente estudo conforme é comentado neste trabalho. Observaram-se ainda cristais de tamanho heterogêneo e regiões nas quais não foi possível determinar o tamanho dos cristais e em que a porosidade da camada de fosfato era maior (Figuras 3c e 3f). Provavelmente, essas regiões apresentavam maiores quantidades de óxido e de carbonato hidratado de zinco, conforme apresentado na Tabela 4, que interferiram na formação e no recobrimento da camada de fosfato.

Para a formação de qualquer camada de fosfato é necessário que o substrato metálico esteja limpo, livre de quaisquer impurezas como óxidos, óleos, graxas ou partículas sólidas que ajam como barreira ou locais preferenciais para nucleação e crescimento de cristais de fosfato. Em superfícies sujas as camadas obtidas não são uniformes e apresentam baixa resistência à corrosão.<sup>(13,14)</sup>



**Figura 3.** Aspectos via microscopia eletrônica de varredura das camadas de fosfato.

**Tabela 3.** Resultados da determinação da massa da camada de fosfato (g/m<sup>2</sup>)

Aço eletro galvanizado			Aço galvanizado a quente		
Normal	Manchado	Oxidado	Normal	Manchado	Oxidado
3,2 ± 0,1	3,1 ± 0,2	11,6 ± 1,9	2,9 ± 0,1	3,2 ± 0,1	12,6 ± 0,8

**Tabela 4.** Fases e compostos identificados na camada de fosfato, com suas contagens

Fases e compostos	Aço eletro galvanizado			Aço galvanizado a quente		
	Normal	Manchado	Oxidado	Normal	Manchado	Oxidado
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1324	1867	1768	1189	1434	1626
ZnO			950			1068
ZnCO <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> ·H <sub>2</sub> O	Não detectado		49	Não detectado		77

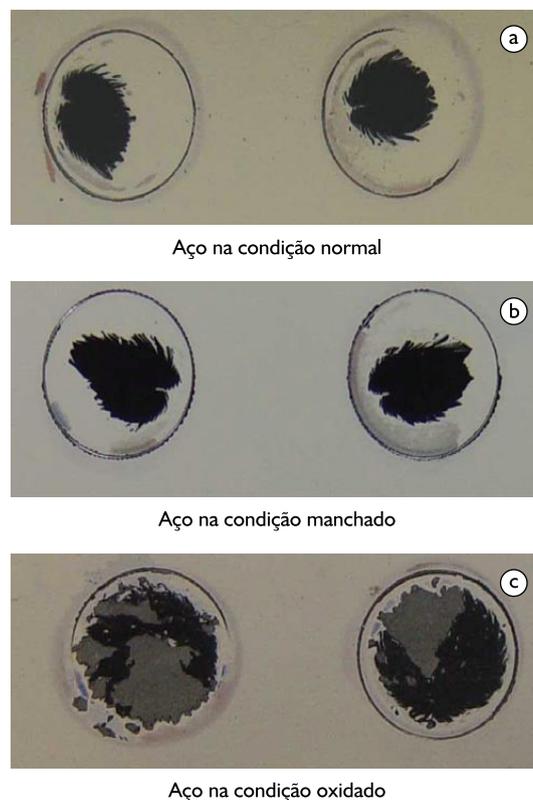
### 3.4 Caracterização da Película Seca de Tinta

Apesar das manchas provocadas pelo óleo protetivo temporário terem exercido forte impacto visual na camada de zinco e serem parcialmente vistas na camada de fosfato, elas não foram observadas na película seca de tinta. Já no caso dos aços com oxidação, percebeu-se uma alteração na textura da película seca de tinta, que se tornou mais “áspera”.

A aderência da tinta nos aços nas condições normal e manchado foi muito boa e prejudicada nos oxidados. Conforme pode ser visto na Tabela 5 e na Figura 4, quando os aços estavam oxidados as falhas na ancoragem da película seca de tinta foram entre a camada de fosfato e a película de tinta eletroforética (*e-coat*). Com os aços na condição manchados, a ancoragem da película seca de tinta não foi prejudicada em relação à condição normal. Esse resultado é esperado visto que, se a superfície do aço apresenta resíduos orgânicos ou produtos de corrosão, a camada de fosfato formada apresenta porosidade elevada ou cristais frágeis; consequentemente, sua capacidade de ancorar filmes orgânicos fica comprometida.<sup>(6)</sup>

### 3.5 Testes Acelerados de Corrosão

Conforme apresentado na Tabela 6, as manchas provenientes de óleo de proteção temporária não comprometeram a resistência à corrosão dos aços, comparativamente à condição normal. Por outro lado, quando a superfície da camada de zinco estava oxidada, houve aumento do avanço médio da corrosão, principalmente no teste Ciclado I, evidenciando a influência dos óxidos na resistência à corrosão dos aços. Apesar do aumento



**Figura 4.** Aspectos representativos das interfaces de deslocamento (Tabela 5). Regiões escuras são películas de tinta eletroforética e as cinzas, camada de fosfato (resultado confirmado pela técnica de microanálise por espectrometria de raios X por dispersão de energia).

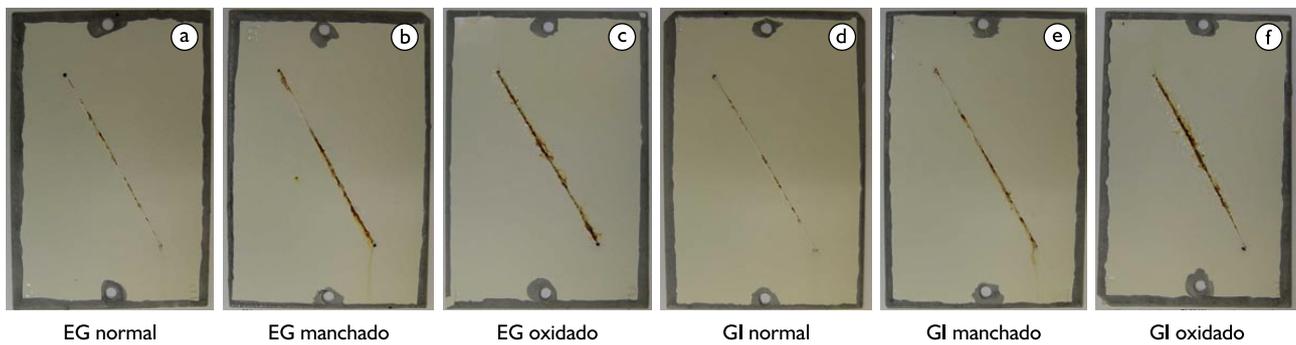
**Tabela 5.** Resultados da determinação da espessura e da aderência da película seca de tinta

Aços	Condição	Espessura média da tinta ( $\mu\text{m}$ )	Aderência				
			Método grade <sup>(6)</sup>		Método tração <sup>(7)</sup>		
			Seco	Úmido	Tensão de ruptura (MPa)	Área de tinta deslocada (%) <sup>(6)</sup>	Interface de deslocamento
EG	Normal	102 $\pm$ 6	Grau 0	Grau 0	5,4 $\pm$ 0,9	39	<i>E-coat</i> / Primer
	Manchado	102 $\pm$ 6	Grau 0	Grau 0	4,3 $\pm$ 1,2	77	<i>E-coat</i> / Primer
	Oxidado	120 $\pm$ 7	Grau 2	Grau 2	3,5 $\pm$ 1,1	53	<i>E-coat</i> / Primer
GI	Normal	103 $\pm$ 7	Grau 0	Grau 0	3,2 $\pm$ 1,3	28	Fosfato / <i>E-coat</i>
	Manchado	103 $\pm$ 7	Grau 0	Grau 0	3,3 $\pm$ 1,1	55	<i>E-coat</i> / Primer
	Oxidado	100 $\pm$ 5	Grau 2	Grau 3	3,5 $\pm$ 1,1	33	Carretel / Adesivo
						48	<i>E-coat</i> / Primer
						53	<i>E-coat</i> / Primer
						40	Fosfato / <i>E-coat</i>

Obs.: a) a diferença para 100% corresponde à área de película seca de tinta não deslocada; b) No caso da aderência pelo método da tração a falha em todos os casos foi adesiva.

**Tabela 6.** Resultados de avanço médio (mm) da corrosão dos aços

Testes	EG			GI		
	Normal	Manchado	Oxidado	Normal	Manchado	Oxidado
Ciclado I	4,8 $\pm$ 1,3	4,8 $\pm$ 1,1	5,4 $\pm$ 1,0	4,4 $\pm$ 0,9	3,9 $\pm$ 1,0	6,3 $\pm$ 1,3
SAE J2334	2,5 $\pm$ 0,5	2,3 $\pm$ 0,4	2,8 $\pm$ 0,5	2,4 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 0,4	2,5 $\pm$ 0,5
ISO 11474	2,7 $\pm$ 0,6	2,9 $\pm$ 0,6	3,1 $\pm$ 0,6	2,0 $\pm$ 1,3	2,3 $\pm$ 0,5	2,6 $\pm$ 0,6



**Figura 5.** Aspectos dos corpos de prova após os testes de corrosão.

dos valores de avanço médio da corrosão não ser tão evidente nos teste SAE J2334 e ISO 11474, observou-se, na região de danificação mecânica da película seca de tinta, que a intensidade de oxidação vermelha é maior nos aços com oxidação da camada de zinco do que nos demais aços, conforme mostrado na Figura 5 para o caso do teste Ciclado I.

#### 4 CONCLUSÃO

Manchas presentes na superfície da camada de zinco de aços galvanizados ocasionadas por óleos protetivos temporários ou processo de oxidação causam realmente forte impacto visual, podendo levar à recusa do material.

Não se verificou influência de manchas de óleo de proteção na quantidade de fosfato depositado. As manchas foram tenuamente percebidas na camada de fosfato, mas não houve alterações na cristalinidade e homogeneidade dos cristais de fosfato. A película seca de tinta apresentou-se uniforme e sem manchas.

Manchas provocadas por processo de oxidação da camada de zinco alteraram substancialmente a massa de fosfato depositada. Percebeu-se, claramente, sua presença na camada de fosfato e alterações na morfologia dos cristais de fosfato e na textura da película seca de tinta, que ficou mais “áspera”.

A aderência da película seca de tinta dos aços praticamente não foi comprometida pela presença de manchas provenientes de óleo protetivo temporário. Por outro lado, verificou-se menor aderência devido a manchas por oxidação. Nesse caso, verificou-

se que o desprendimento da película seca de tinta ocorreu entre a camada de fosfato e a película seca de tinta da pintura eletroforética (e-coat). Esse resultado está associado à formação de produtos de corrosão do zinco, que não foi removido adequadamente durante o desengraxamento e a fosfatização. Nessas condições, a camada de fosfato apresentou maior porosidade e cristais de fosfato mais frágeis, comprometendo a ancoragem do esquema de pintura.

Nos testes acelerados de corrosão, constatou-se que a resistência dos aços tende a ser a mesma nos aços com mancha de óleo de proteção temporária e menor no material com oxidação na camada de zinco, comparativamente à condição normal.

Devido ao aço manchado ter apresentado camada de fosfato com boas características, bons resultados de aderência da película seca de tinta e resistência à corrosão semelhante à condição normal (sem manchas), pode-se utilizar esse aço nessas condições em aplicações industriais que possuam pré-tratamento de fosfatização e esquema de pintura adequados. Quanto aos aços com oxidação na camada de zinco, não é recomendado seu emprego, principalmente na condição pintado.

#### REFERÊNCIAS

- 1 HORSTMANN, D. *Faults in hot dip galvanizing*. Düsseldorf: Stahleisen GMBH, 1983.
- 2 BERGER, U. *et al. Surface defects on hot-dip metal coated steel sheet*. Düsseldorf: Stahleisen GMBH, 1988.
- 3 BILLY, J. *et al. Premature darkening of hot dip galvanized zinc coated*. In: INTERGALVA'97 - ZINC COATED STEEL SHEET / INTERNATIONAL ZINC COATED SHEET CONFERENCE, 5., 1997, Birmingham, UK. *Proceedings...* Caterham: European General Galvanizers Association, 1997. WALLINDER, I. O. *et al. Characterization of black rust staining of unpassivated 55% Al-Zn alloy coatings: effect of temperature, pH and wet storage*. *Corrosion Science*, v. 41, n. 12, p. 2229-49, Dec. 1999.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma NBR 10443 - Tintas - Determinação da espessura da película seca*. Rio de Janeiro, 1988.

- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma NBR 11003* - Tintas - Determinação da aderência. Rio de Janeiro, 1990.
- 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Norma ISO 4624* - Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion. Geneva, 2002.
- 7 TEIXEIRA, C. H. S. B. *et al.* Influência da porosidade da camada de fosfato na resistência à corrosão de aços pintados. In: INTERCORR, 2008, Recife, PE. Rio de Janeiro: Abraco, 2008.
- 8 SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. *Norma SAE J2334* - Laboratory cyclic corrosion test. [S.l.], 2003.
- 9 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Norma ISO 11474* - Corrosion of metals and alloys - corrosion tests in artificial atmosphere - accelerated outdoor test by intermittent spraying of salt solution. Geneva, 1993.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Norma NBR 8754* - Corpos de prova revestidos e expostos a ambientes corrosivos. Rio de Janeiro, 1985.
- 11 NARAYANAN, S. Influence of various factors on phosphatability: an overview. *Metal Finishing*, v. 94, n. 6, p. 86-90, June 1996.
- 12 CODUTI, P. L. Effect of residual carbon on the paintability of steel strip. *Metal Finishing*, v. 78, n. 5, p. 51-7, May 1980.
- 13 MAEDA, S. Steel surface chemistry affecting the performance of organic coating. *Progress in Organic Coatings*, v. 11, p. 1-18, Jan. 1983.

Recebido em: 30/11/2009

Aceito em: 07/07/2010