



# INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO DE PINTURA NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS<sup>1</sup>

*Evandro de Azevedo Alvarenga<sup>2</sup>*

## Resumo

Neste trabalho avalia-se o efeito de alguns parâmetros de processo de pintura, tais como a limpeza superficial, a massa e a porosidade de camadas de fosfato e o tipo de resina eletroforética, na resistência à corrosão atmosférica de aços. Esses estudos foram realizados em laboratório com corpos-de-prova pintados na indústria automobilística. Verificou-se que a limpeza superficial, medida pelo teor de resíduo carbonoso ou oleoso, deve ser menor que  $8 \text{ mg/m}^2$  de modo a não interferir na formação da camada de fosfato, cuja massa de camada e porosidade precisam ser menores que  $3,5 \text{ g/m}^2$  e 1,5%, respectivamente, para garantir boa resistência à corrosão atmosférica do sistema de pintura. O tipo de resina catiônica também influencia na resistência à corrosão dos aços. Os melhores resultados de resistência à corrosão foram obtidos com resina epóxi modificada.

**Palavras-chave:** Limpeza superficial; Fosfatização; Pintura; Resistência à corrosão atmosférica.

## INFLUENCE OF PAINTING PROCESS PARAMETERS ON THE CORROSION RESISTANCE OF STEELS

### Abstract

This study evaluates the effect of some painting process parameters, such as surface cleanness, phosphate layers mass and porosity and the type of electrophoretic resin, on the atmospheric corrosion resistance of steels. The tests were carried out in laboratory with test specimens painted at the automobile industry. The results showed that the surface cleanness, measured by the carbon or oil residues contents, must be less than  $8 \text{ mg/m}^2$ , so as not to interfere in the formation of the phosphate layer. The mass and porosity of the phosphate layer must be less than  $3.5 \text{ g/m}^2$  and 1.5%, respectively, in order to ensure a good atmospheric corrosion resistance of the coating system. The type of cationic resin also influences the corrosion resistance of steels. The best results of corrosion resistance were obtained with modified epoxy resin.

**Key words:** Surface cleanness; Phosphatization; Painting; Atmospheric corrosion resistance.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

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

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de pintura empregado pelas indústrias envolve o substrato metálico, o pré-tratamento de fosfatização e aplicação de uma ou mais camadas de tinta.

Durante o processo de produção de aços são empregadas emulsões de óleos de laminação, com finalidade de lubrificar e refrigerar o processo de laminação a frio. Quando o óleo de laminação a frio não é totalmente removido durante a produção do aço, principalmente na etapa de limpeza eletrolítica, pode ocorrer formação de carbono grafítico na seção de tratamento térmico da bobina. O craqueamento de óleo de laminação e sua consequente eliminação da superfície da tira dependem do tempo, da temperatura e da composição química da atmosfera do tratamento térmico.

A presença de carbono grafítico sobre a superfície do aço, conhecido como resíduo carbonoso, ocasiona problemas de formação de camadas de fosfatos ou de aderência de revestimentos metálicos em processos de galvanização eletrolítica ou galvanização por imersão a quente. O resíduo carbonoso uma vez formado não é eliminado por meio de desengraxamento convencional. Por isso, deve ser evitado durante o processo de produção do aço. É importante esclarecer que resíduo carbonoso ocorre somente em aços sem revestimentos metálicos. Em aços revestidos com zinco e suas ligas tem-se sobre a superfície resíduos oleosos; oriundos de produtos orgânicos empregados no processamento final desses materiais nas indústrias de um modo geral. Tecnicamente, as indústrias deveriam empregar produtos orgânicos de fácil remoção, mas quando não o fazem a presença desses resíduos orgânicos causam o mesmo efeito de resíduos carbonosos em aços sem revestimentos metálicos.

O pré-tratamento de fosfatização consiste no desengraxamento para remoção de óleos de proteção temporária, de óleos de conformação, de graxas e de outros resíduos provenientes do próprio processo, além da fosfatização propriamente dita. A remoção de todos os resíduos orgânicos é importante para a formação da camada de fosfato.

A principal finalidade das camadas de fosfato é atuar como superfície de ancoragem para esquemas de pintura, promovendo sua aderência, sua flexibilidade e ajudando a proteger o substrato metálico contra a corrosão. Além disso, também atua como lubrificante sólido durante processos de conformação mecânica. A formação de camada de fosfato sobre os aços ocorre por precipitação ou pseudoconversão química, sendo resultado de cinco etapas fundamentais: i) dissolução de filmes de óxido presentes na superfície do substrato metálico (não se trata de óxidos oriundos de processos de corrosão intensa); ii) ataque eletroquímico da superfície metálica pelo ácido fosfórico (ácido livre) presente na solução fosfatizante, ocasionando deslocamento do equilíbrio químico entre os fosfatos primário, secundário e terciário de zinco; iii) precipitação de cristais de fosfatos extremamente pequenos, formando uma camada, algumas vezes, denominada amorfa; iv) cristalização grosseira dos fosfatos formados; v) reorganização cristalina dando origem à estrutura final do recobrimento. A presença de resíduos carbonoso ou oleoso impede o ataque ácido e com isso a cobertura completa da superfície metálica pela camada de fosfato, criando poros por onde iniciam-se os processos corrosivos. A massa, o tipo de fase cristalina presente e a porosidade são parâmetros importantes para o bom desempenho da camada de fosfato.

A pintura, por sua vez, protege o metal contra a corrosão e confere boa aparência ao produto final.

Neste estudo, apresenta-se o efeito de resíduos carbonosos ou oleosos na formação da camada de fosfato e juntamente com o tipo de resina utilizada na pintura eletroforética na resistência à corrosão de aços destinados à indústria automobilística.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Substratos Metálicos

Os aços utilizados foram o carbono-manganês e os galvanizados por imersão a quente sem e com tratamento térmico da camada de zinco (Usigal-GI e Usigal-GA). Corpos-de-prova desses aços, obtidos a partir de bobinas industriais, foram desengraxados em laboratório e fosfatizados e pintados em empresas do setor automobilístico, aplicando-se dois tipos de resinas catiônicas: epóxi e epóxi modificada.

### 2.2 Limpeza Superficial dos Aços

A limpeza superficial dos aços foi avaliada pelo teor de resíduo carbonoso ou oleoso com o equipamento RC-412 da Leco Corporation. Para aços carbono-manganês sem revestimento metálico a temperatura de teste é de 600°C e para aços revestidos com zinco e suas ligas de 400°C.

### 2.3 Determinação da Massa, Porosidade e Morfologia da Camada de Fosfato

A massa de camada de fosfato é determinada pelo método gravimétrico, imergindo-se cinco corpos-de-prova em solução de CrO<sub>3</sub> 0,5% p/v a 70°C durante cinco minutos. Para o cálculo da massa aplica-se a equação (1).

$$M_p = \frac{(M_i - M_f)}{A} \quad (1)$$

sendo:

$M_p$  = massa de camada de fosfato [g/m<sup>2</sup>]

$M_i$  = massa inicial do corpo-de-prova com a camada de fosfato [g]

$M_f$  = massa final do corpo-de-prova após a remoção da camada de fosfato [g]

$A$  = área do corpo-de-prova [m<sup>2</sup>]

A porosidade da camada de fosfato foi medida em cinco corpos-de-prova fazendo-se uso da equação (2).

$$P_{CF} = \frac{I_{mcf}}{I_{msf}} \times 100 \quad (2)$$

onde:

$P_{CF}$  = porosidade da camada de fosfato [%]

$I_{mcf}$  = densidade de corrente média do aço com camada de fosfato [A/cm<sup>2</sup>]

$I_{msf}$  = densidade de corrente média do aço sem camada de fosfato [A/cm<sup>2</sup>]

Os valores médios de corrente dos aços com e sem fosfato ( $I_{mcf}$  e  $I_{msf}$ ) foram obtidos mediante duas técnicas: i) aço carbono-manganês - técnica eletroquímica de polarização catódica, pela qual mede-se a taxa de redução de oxigênio em solução de NaOH com pH igual a 12<sup>(1)</sup> e ii) aços revestidos com zinco e suas ligas - técnica

eletroquímica de polarização catódica voltamétrica, com eletrólito de solução 0,5 N de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) a 25°C.<sup>(2)</sup> Em ambos os casos o equipamento utilizado foi o EG & G Princeton Applied Research, modelo 273A.

As análises relativas às morfologias da camada de fosfato foram feitas no microscópio eletrônico de varredura modelo EVO 50 da Zeiss, com tensão de aceleração de 20 kV acoplado a espectrômetro por dispersão de energia (EDS), modelo INCA 350 e espectrômetro por dispersão de comprimento de onda (WDS), modelo INCA 500i, ambos da Oxford.

## 2.4 Preparação de Corpos-de-Prova

Após desengraxamento, fosfatização e aplicação de pintura e antes dos testes de corrosão, as bordas e as regiões de furos dos corpos-de-prova, bem como áreas contendo marcas de identificação foram protegidas por demão de tinta bicomponente epóxi poliamida. Em seguida, a película de tinta relativa a uma das faces de cada corpo-de-prova foi danificada mecanicamente com ferramenta de usinagem, com ponta de carbeto de tungstênio, até atingir o metal base, formando ângulo interno de  $60^\circ \pm 15^\circ$ . O entalhe é feito na diagonal do corpo-de-prova, observando-se uma distância da extremidade do risco até as bordas de, aproximadamente, 20 mm, seguindo a norma NBR 8754.<sup>(3)</sup> Na Figura 1 tem-se o aspecto final de corpo-de-prova após esse procedimento.



**Figura 1** – Corpo-de-prova com bordas e regiões de furos protegidas com tinta bicomponente epóxi poliamida e com danificação mecânica intencional na película seca de tinta.

A espessura de película seca de tinta foi medida conforme norma NBR 10443<sup>(4)</sup> e a aderência pelo método de tração. Para se obter a aderência cola-se sobre a película seca de tinta um carretel de alumínio com diâmetro de 19,7 mm. O adesivo empregado foi do tipo estrutural (SGA 3941 e SGA 3942 da Threebond, na proporção de 1:1). A seguir, os carretéis são destacados mediante teste de tração mecânica, empregando-se máquina de tração do tipo Instron 8502 de 10 toneladas, com velocidade de tração de 5 mm/min até a ruptura.

Após os testes de corrosão os corpos-de-prova foram avaliados quanto ao avanço médio e à penetração máxima da corrosão. O avanço médio da corrosão representa o quanto a película seca de tinta desprende-se da superfície do substrato metálico ao longo da danificação mecânica. A penetração máxima de corrosão também é medida ao longo do risco, mas no sentido da espessura, ou seja, perpendicular à superfície do corpo-de-prova.

## **2.5 Testes Acelerados Cíclicos de Corrosão**

### **2.5.1 Teste acelerado cíclico de corrosão Ciclado I**

Este teste foi desenvolvido na Usiminas e tem duração de 1680 horas, compreendendo dez ciclos de 168 horas. Cada ciclo consiste das seguintes etapas:

- i) 1<sup>o</sup> dia – 24 horas de exposição em câmara de névoa salina<sup>(5)</sup> a  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , utilizando solução a 5% p/v de NaCl e pH de 6,5 a 7,0;
- ii) 2<sup>o</sup> ao 5<sup>o</sup> dia – 8 horas de exposição em câmara úmida<sup>(6)</sup> a  $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa maior que 95%, seguida de 16 horas nessa câmara, porém desligada, aberta e à temperatura ambiente;
- iii) 6<sup>o</sup> e 7<sup>o</sup> dia – exposição em ambiente de laboratório.

### **2.5.2 Teste acelerado cíclico de corrosão GM 9540P**

O teste GM 9540P<sup>(7)</sup> foi desenvolvido na General Motors e sua duração é de 1.920 horas, correspondendo a 80 ciclos de 24 horas. Cada ciclo compõe-se das etapas seguintes:

- i) aplicação de névoa salina mista<sup>(5)</sup> (0,9% p/v de NaCl, 0,1% p/v de  $\text{CaCl}_2$  e 0,25% p/v de  $\text{NaHCO}_3$ ) durante 15 minutos, seguida de intervalos de 75 minutos em câmara úmida<sup>(6)</sup> a  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa entre 40% a 50%. Essa etapa deve ser repetida quatro vezes antes de passar para a seguinte;
- ii) 2 horas em câmara úmida<sup>(6)</sup> a  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa entre 40% e 50%;
- iii) 8 horas em câmara úmida<sup>(6)</sup> a  $49^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa entre 95% e 100%;
- iv) 8 horas de câmara seca<sup>(6)</sup> a  $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa menor que 30%.

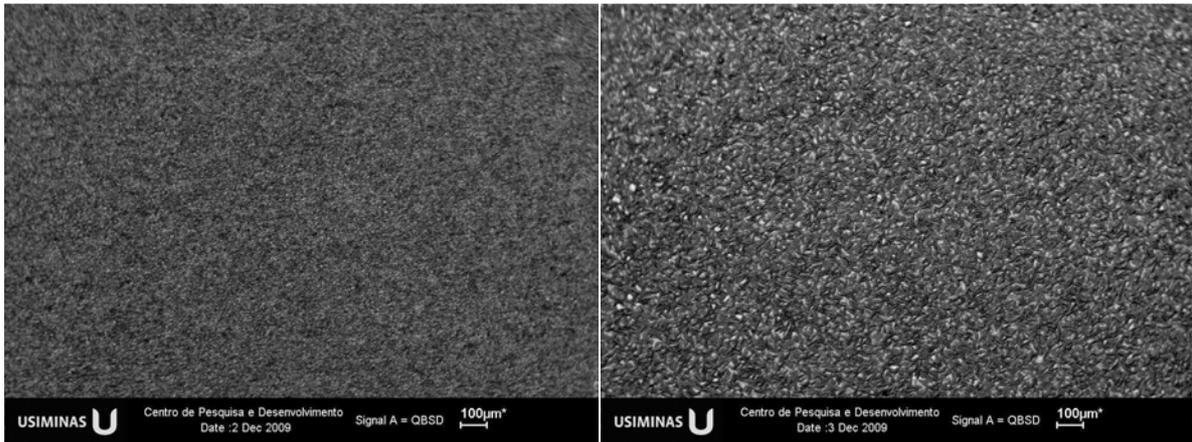
### **2.5.3 Teste não-acelerado de corrosão em atmosfera marinha**

Este teste foi realizado segundo norma NBR 7011<sup>(8)</sup> utilizando-se a Estação de Corrosão Marinha da Usiminas localizada na latitude  $23^{\circ}00'49''\text{S}$  e longitude  $42^{\circ}00'56''\text{O}$  em Arraial do Cabo-RJ.<sup>(9)</sup>

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Influência da Limpeza da Superfície dos Aços na Porosidade de Camada de Fosfato**

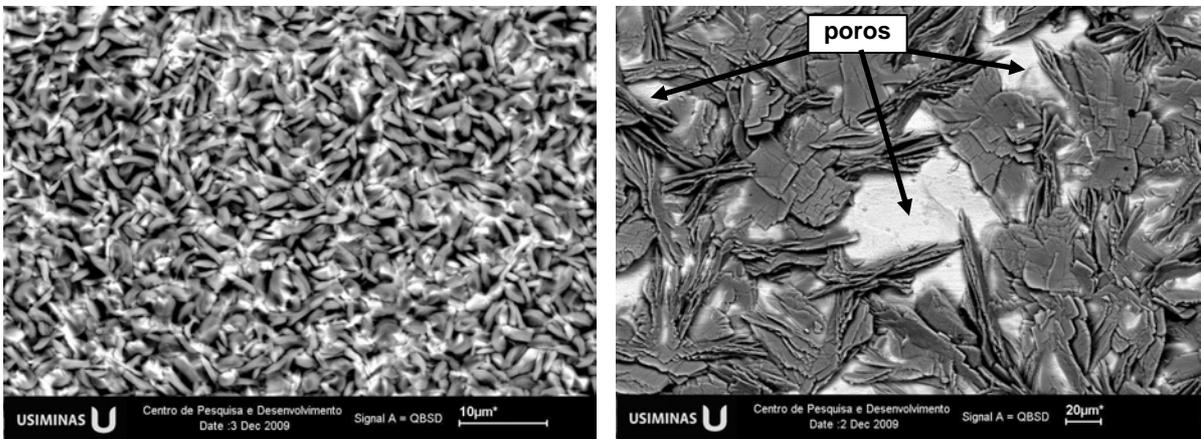
O mapeamento de carbono realizado em camadas de fosfato indica falhas de formação dessa camada em regiões de alto teor de resíduo carbonoso, em contraste àquelas superfícies com baixa contaminação de carbono, conforme mostrado nas Figuras 2 e 3.



a) teor de resíduo carbonoso médio de 4 mg/m<sup>2</sup>

b) teor de resíduo carbonoso médio de 15 mg/m<sup>2</sup>

**Figura 2** – Mapeamento de carbono por raios-X (pontos brancos) em amostra fosfatizada. Os poros na camada de fosfato coincidem com presença de carbono (resíduo carbonoso).

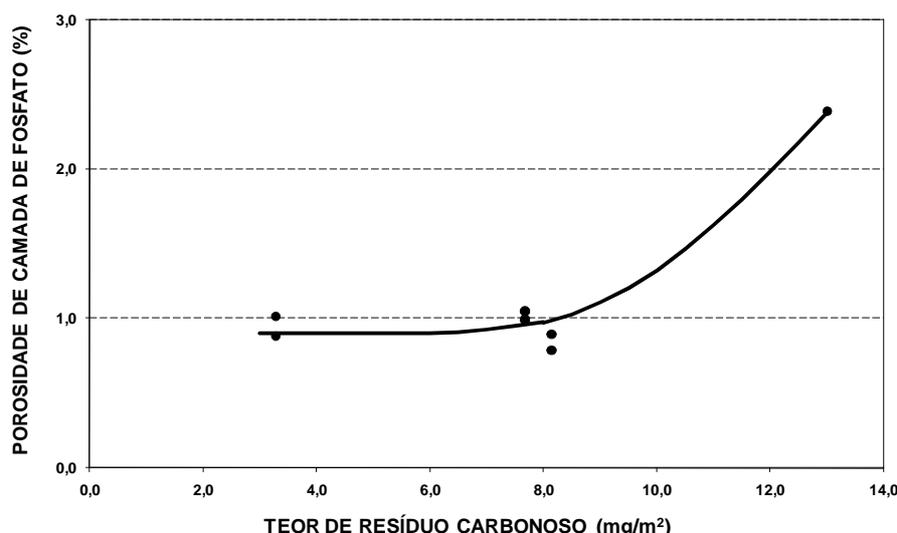


a) amostra com teor de resíduo carbonoso menor que 8 mg/m<sup>2</sup>

b) amostra com teor de resíduo carbonoso maior que 14 mg/m<sup>2</sup>

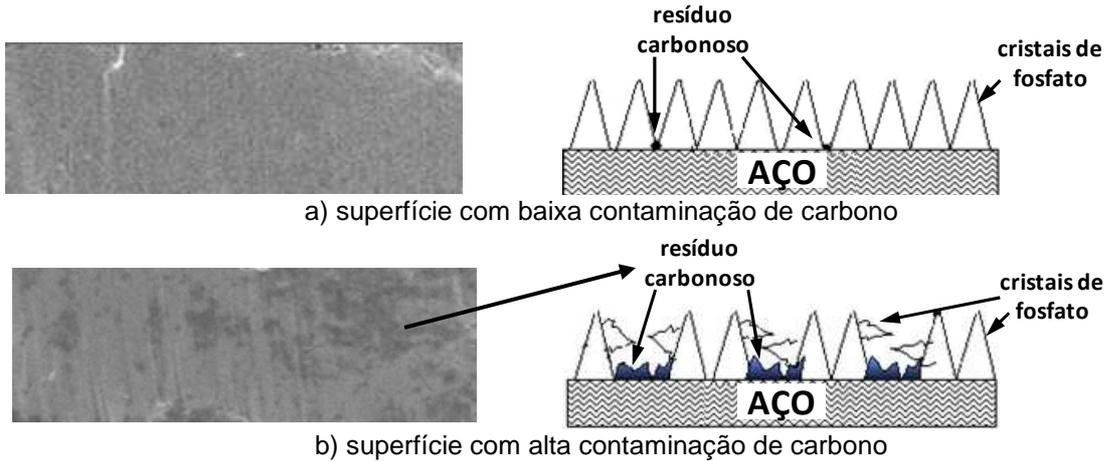
**Figura 3** – Influência de resíduo carbonoso na formação de poros na camada de fosfato.

A influência de resíduo carbonoso na formação de camadas de fosfato pode ser explicada em virtude do processo de fosfatização envolver dissolução anódica do substrato metálico (ferro ou zinco). A presença de carbono como contaminante superficial obstrui tanto a criação de sítios ativos como a reação anódica de fosfatização; conseqüentemente, impede as reações catódicas responsáveis pela precipitação de cristais de fosfato. O resultado do aumento do teor de resíduo carbonoso é o incremento da porosidade de camada de fosfato, principalmente para valores acima de 8,0 mg/m<sup>2</sup>, conforme gráfico da Figura 4.



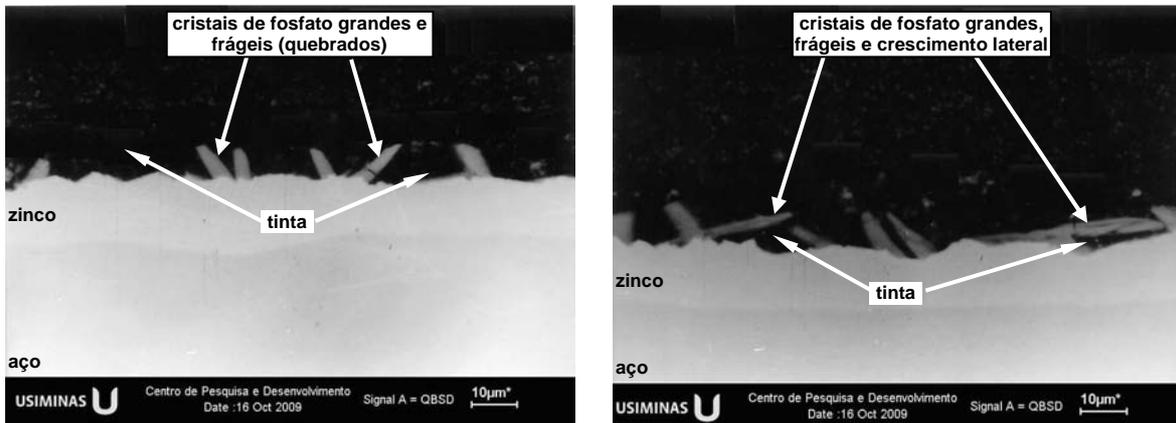
**Figura 4** – Influência de resíduo carbonoso na porosidade de camadas de fosfato de aços carbono-manganês.

A razão pela qual a porosidade de camadas de fosfato repentinamente cresce quando o teor do resíduo carbonoso é maior do que  $8,0 \text{ mg/m}^2$  está no tamanho desse resíduo. Observado por microscopia eletrônica o resíduo carbonoso é um aglomerado de pós de carbono cujo estado físico é próximo ao do grafite. O diâmetro deste aglomerado em amostras com alta contaminação de carbono varia de  $10 \mu\text{m}$  a  $100 \mu\text{m}$ , coerentemente com o tamanho de poros de camadas de fosfato. Por exemplo, o diâmetro de poros da amostra da Figura 3b é cerca de  $80 \mu\text{m}$ . Comparativamente, o diâmetro médio de cristais de fosfato da amostra da Figura 3a é de  $3 \mu\text{m}$ , portanto, menor que o diâmetro de resíduo carbonoso e de poros em camada de fosfato. Desta forma, se a quantidade de resíduo carbonoso é menor que  $8,0 \text{ mg/m}^2$ , o diâmetro de seus aglomerados é suficientemente pequeno para não interferir na criação de sítios ativos sobre a superfície metálica (de acordo com Cheever<sup>(10)</sup> o número desses sítios é de  $10^5$  sítios/ $\text{cm}^2$  a  $10^6$  sítios/ $\text{cm}^2$ ). Quanto maior a taxa de formação de sítios ativos menores serão os cristais de fosfato, a cristalinidade tende a ser bem mais acentuada (agulhas, plaquetas, pétalas), melhor é a cobertura do substrato metálico pela camada de fosfato e menor a porosidade dessa camada, conforme ilustrado na Figura 5a. Por outro lado, aglomerados de pós de carbono maiores, correspondendo a resíduos carbonosos acima de  $8,0 \text{ mg/m}^2$ , impedem a formação de sítios ativos prejudicando a nucleação de cristais de fosfato. Com isso, os cristais tendem a ficar maiores e mais frágeis, perdem a cristalinidade (aspecto mais amorfo), crescem lateralmente e não conseguem recobrir toda a área a ser fosfatizada (Figura 5b).



**Figura 5** – Ilustração de influência de contaminações orgânicas na superfície de substratos metálicos na formação de camadas de fosfato.

A fragilidade de cristais de fosfato devido ao seu tamanho e seu crescimento lateral podem ser vistos na Figura 6.



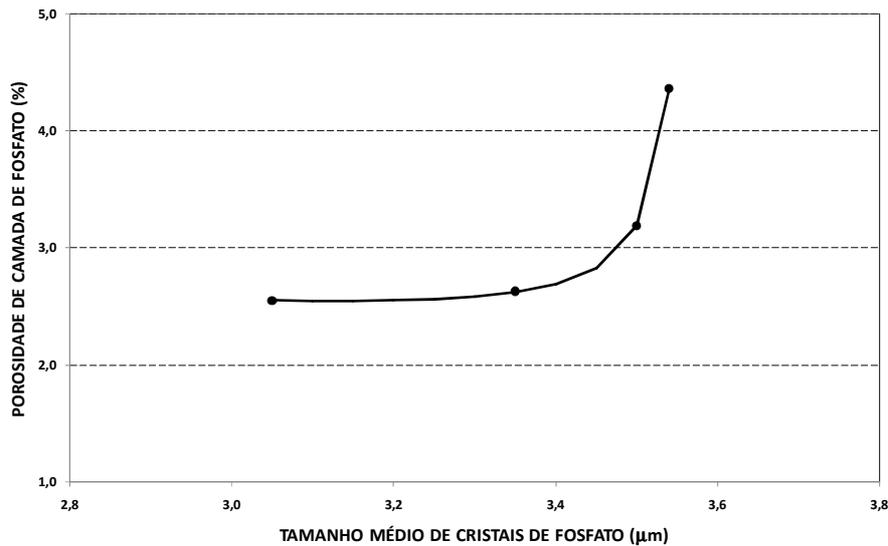
a) cristal de fosfato frágil

b) crescimento inadequado (lateral) de cristais de fosfato

**Figura 6** – Aspectos de fragilidade e de crescimento inadequado de cristais de fosfato devido a presença de resíduo carbonoso maior que 10 mg/m<sup>2</sup> na superfície do metal.

### 3.2 Efeito do Tamanho de Cristais de Fosfato na Porosidade de Camada de Fosfato

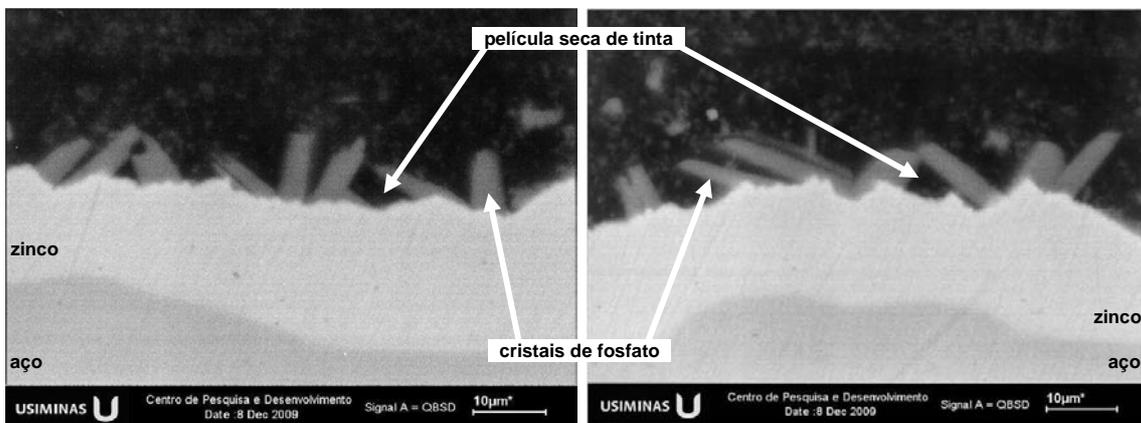
A preparação da superfície metálica para receber camadas de fosfato, normalmente criando-se sítios ativos mediante aplicação de solução de titânio coloidal, tem finalidade de refinar ou controlar o tamanho de cristais de fosfato. Esse parâmetro é importante, pois quanto menor for o tamanho de cristais mais fácil é sua acomodação um ao lado do outro e melhor será a cobertura da superfície metálica. Na Figura 7 mostra-se a relação entre o tamanho de cristais de fosfato e a porosidade de sua camada. Segundo essa figura, a porosidade da camada de fosfato aumenta rapidamente para cristais de dimensões maiores do que 3,4 µm.



**Figura 7** – Relação entre tamanho de cristais de fosfato e porosidade de camada de fosfato.

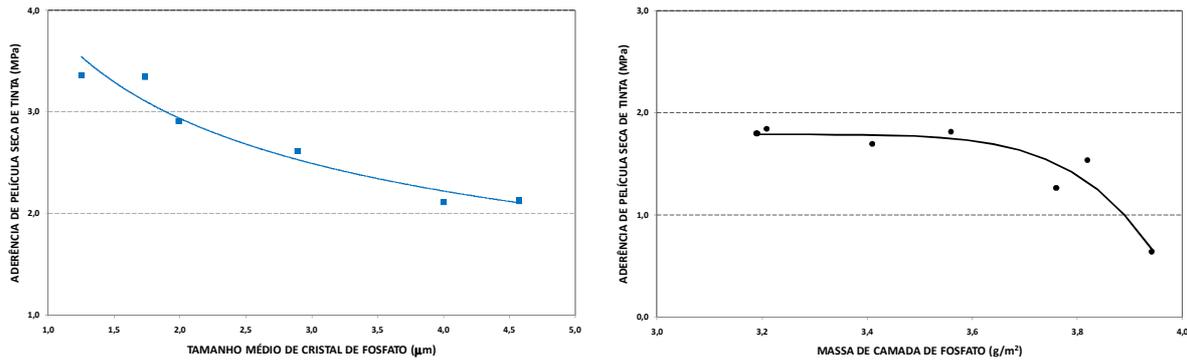
### 3.3 Efeito de Camada de Fosfato na Aderência de Esquema de Pintura dos Aços

Como mencionado, a fixação de película de tinta sobre substratos metálicos é feita por meio de camada de fosfato, que atua como superfície de ancoragem. A permeação da tinta entre a rede de cristais da camada de fosfato pode ser vista na Figura 8, o que demonstra que sua fixação é mecânica.



**Figura 8** – Exemplo de permeação de película de tinta entre a rede cristalina da camada de fosfato.

Devido à fixação da película seca de tinta ser mecânica, tornam-se importantes a completa cobertura da superfície metálica e a integridade de cristais de fosfato. Na Figura 9 apresenta-se as relações entre o tamanho de cristal e a massa de camada de fosfato na aderência de películas secas de tinta, parâmetros que devem ser levados em conta em sistemas de pintura.



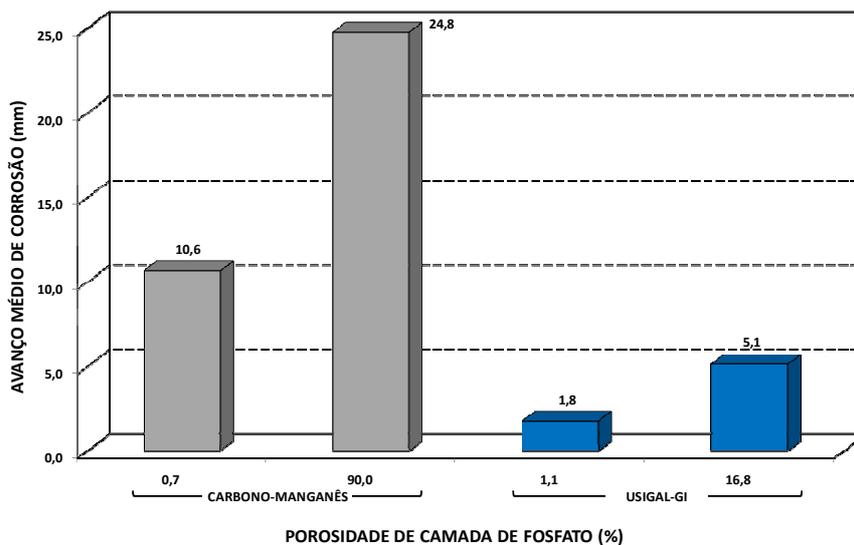
**Figura 9** – Resultados de aderência de película seca de tinta medida pelo método de tração em função de tamanho de cristal de fosfato e de massa de camada de fosfato.

Conforme Figura 9, a tensão necessária para remover a película seca de tinta (aderência) de corpos-de-prova fosfatizados e pintados decresce com o tamanho de cristais de fosfato e de forma acentuada para massas de camadas de fosfato acima de 3,5 g/m<sup>2</sup>. Isso ocorre porque uma vez nucleado todos os cristais de fosfato a massa de camada aumenta mediante crescimento dos cristais, o que os tornam mais frágeis e quebradiços, comprometendo a aderência do filme de tinta.

### 3.4 Influência da Porosidade de Camada de Fosfato na Resistência à Corrosão dos Aços

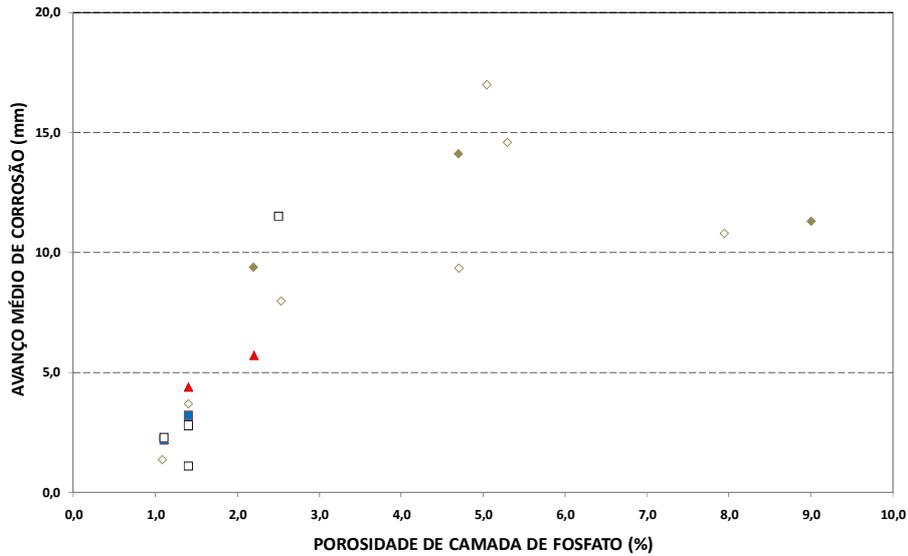
Estudos<sup>(2,11)</sup> sobre porosidade de camadas de fosfatos descreve efeito marcante desse parâmetro na resistência à corrosão de aços fosfatizados e pintados, conforme mostrado nas Figuras 10 e 11.

Observa-se na Figura 10, que os aços carbono-manganês são mais sensíveis ao efeito da porosidade de camada de fosfato do que os aços galvanizados por imersão a quente sem tratamento da camada de zinco.



**Figura 10** – Influência da porosidade de camada de fosfato na resistência à corrosão de aços fosfatizados e pintados. Teste acelerado cíclico de corrosão Ciclado I.

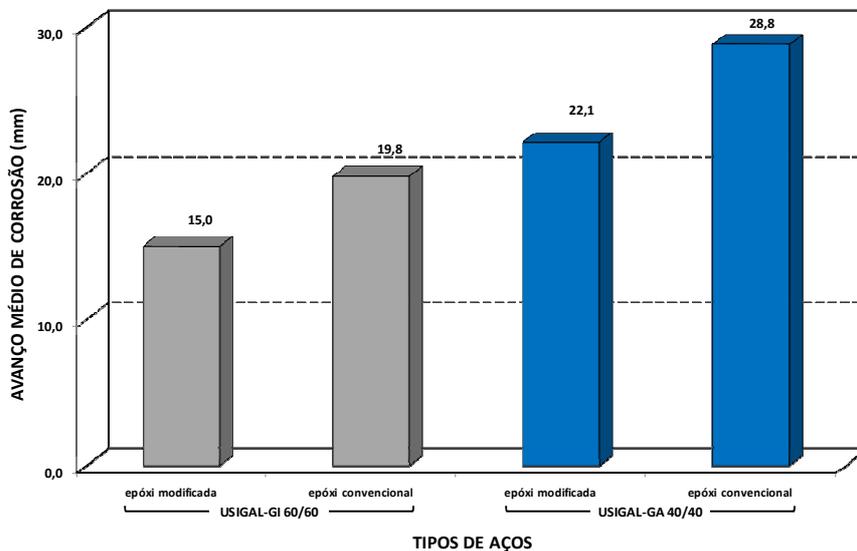
Quanto à porosidade máxima, verificou-se que para avanços médios de corrosão menores que 5 mm a porosidade de camada de fosfato deve ser inferior a 1,5% (Figura 11).



**Figura 11** – Relação entre porosidade de camada de fosfato e avanço médio de corrosão. Testes acelerados cíclico de corrosão Ciclado I e GM 9540P e não-acelerado de corrosão em atmosfera marinha.

### 3.5 Efeito de Pintura Eletroforética na Resistência à Corrosão de Aços

De acordo com os resultados apresentados na Figura 12, o sistema de pintura eletroforética com resina epóxi modificada apresentou melhor resistência à corrosão, comparativamente ao de resina epóxi convencional.



**Figura 12** – Efeito do tipo de resina empregada na pintura eletroforética na resistência à corrosão de aços. Teste acelerado cíclico de corrosão GM 9540P com 5760 horas de duração.

Apesar das resinas epóxi serem, de modo geral, boas para a proteção contra corrosão de metais, a mistura de diferentes tipos de resinas pode resultar em produtos com melhor desempenho.

Nos resultados apresentados na Figura 12, o melhor desempenho do aço Usigal-GI 60/60 g/m<sup>2</sup> se deve a sua maior massa de camada de zinco, comparativamente ao aço Usigal-GA 40/40 g/m<sup>2</sup>.



## 4 CONCLUSÃO

Verificou-se que parâmetros de processo de pintura, tais como limpeza superficial, tamanho de cristal, massa e porosidade de camada de fosfato e, também, tipo de resina catiônica interferem na resistência à corrosão de aços fosfatizados e pintados. Dentre esses parâmetros destaca-se a limpeza superficial, cuja medida em termos de resíduo carbonoso/oleoso deve ser menor que  $8 \text{ mg/m}^2$ , pois é a partir de superfícies metálicas isentas de resíduos orgânicos que a camada de fosfatos irá ser depositada e, posteriormente, o filme de tinta irá se assentar. A massa de camada de fosfato não deve ultrapassar valores de  $3,5 \text{ g/m}^2$ , de modo a assegurar a formação de cristais de fosfato menores do que  $5 \mu\text{m}$  e porosidade de camada inferior a 1,5%. A utilização de resinas epóxi modificada trouxe melhor benefício do que resinas epóxi convencionais.

Somente mediante a combinação de processo de pré-tratamento bem realizado com utilização de resinas para pintura eletroforética com boa resistência à corrosão, que o sistema de pintura atingirá seu melhor desempenho.

## REFERÊNCIAS

- 1 ZURILLA, R. W.; HOSPADARUK, V. – Quantitative Test for Zinc Phosphate Coating Quality. CONGRESS AND EXPOSITION COBO HALL, SAE n. 780187, Detroit, Feb./March./1978.
- 2 TEIXEIRA, C. H. S. B.; ALVARENGA, E. A. – Resistência à Corrosão de Aços Galvanizados Fosfatizados e Pintados. In: 10ª COTEQ - CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS/28º CONBRASCORR - Congresso Brasileiro de Corrosão. Salvador, BA, 12 a 15 de maio de 2009.
- 3 NORMA NBR 8754 – Corpos-de-prova Revestidos e Expostos a Ambientes Corrosivo - Método de Avaliação. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, fevereiro/1985.
- 4 NORMA NBR 10.443 – Tintas e Vernizes - Determinação da Espessura da Película Seca sobre Superfícies Rugosas - Método de Ensaio. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 17/dezembro/2008.
- 5 NORMA NBR 8094 – Material Metálico Revestido e Não-revestido - Corrosão por Exposição à Névoa Salina. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, julho/1983.
- 6 NORMA NBR 8095 – Material Metálico Revestido e Não-revestido - Corrosão por Exposição à Atmosfera Úmida Saturada, julho/1983.
- 7 STANDARD GM 9540P – Accelerated Corrosion Test. GENERAL MOTORS ENGINEERING STANDARDS, Dec./1997.
- 8 NORMA NBR 7011 – Materiais Metálicos Revestidos por Pintura - Ensaio Não-acelerado de Corrosão Atmosférica - Método de Ensaio. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, dezembro/1981.
- 9 ALVARENGA, E. A. - Pesquisa e Desenvolvimento em Corrosão e em Engenharia de Superfície na Usiminas: Infraestrutura e Resultados (*keynote speaker*). In: 64º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 13 a 17 de julho de 2009.
- 10 CHEEVER, G. D. - Formation and Growth of Zinc Phosphate Coatings. JOURNAL OF PAINT TECHNOLOGY, vol. 39, n. 504, pp 1-13, Jan/1967.
- 11 TEIXEIRA, C. H. S. B.; ALVARENGA, E. A., VASCONCELOS, W. L. – Influência da Porosidade da Camada de Fosfato na Resistência à Corrosão de Aços Pintados. INTERCORR 2008 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO - 2º INTERNATIONAL CORROSION MEETING. Recife, PE, 12 a 16 de maio 2008.