

# Estudo da influência do pré-tratamento do aço zincado por imersão a quente na aderência de tintas

J.V.Ferrari, N.L. Almeida, G.M. Bragagnolo, M.B.Almeida e Z.Panossian – IPT ,  
M.C. Andreoli - CTEEP

**Resumo:** Este trabalho tem a finalidade de estudar a influência do pré-tratamento do aço-carbono zincado por imersão a quente (AZIQ) na aderência de tintas. Os sistemas de zincagem mais pintura fazem com que este efeito combinado de proteção contra a corrosão seja um dos mais eficientes e atrativos para a proteção de estruturas de aço instaladas nas redes de transmissão de energia elétrica (torres de transmissão, equipamentos, perfis, suportes de barramentos, radiadores, transformadores, etc.), em locais cuja atmosfera tenha um elevado grau de corrosividade, como no litoral ou em complexos industriais. Devido a este efeito combinado, a pintura do aço zincado por imersão a quente proporciona uma proteção até duas vezes e meia maior do que só a pintura ou só a galvanização de uma estrutura.

**Palavras-chave** – aço-carbono zincado por imersão a quente, aderência de tintas sobre aço zincado.

## I INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto desenvolvido pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, através do Centro de Integridade de Estruturas e Equipamentos Laboratório de Corrosão e Proteção, é a obtenção de uma especificação técnica para a capacitação dos prestadores de serviço de pintura de estruturas de aço-carbono zincadas por imersão a quente da CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista.

## II DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O aço-carbono e o ferro fundido são um dos materiais estruturais mais utilizados na engenharia, devido às suas excelentes propriedades mecânicas. Entretanto, estes materiais raramente podem ser utilizados sem um sistema de proteção contra a corrosão, pois, na maioria dos meios naturais, sofrem corrosão acentuada.

O mecanismo de proteção do aço-carbono mais utilizado contra corrosão é o revestimento de zinco, pelo fato de formar uma película protetora, com produtos de corrosão aderentes, em determinados meios e condições de exposição, pode formar-se de modo contínuo e aderente em sua superfície, protegendo o sistema aço-carbono/zinco. Assim, se o revestimento apresentar alguma danificação ou descontinuidade, em virtude de um processo corrosivo ou danificação mecânica, ainda assim, este apresentará

vantagens, pois, sabe-se que o zinco, na maioria dos meios naturais, é menos nobre que o aço-carbono. Assim sendo, o zinco constitui-se em um revestimento de sacrifício em relação ao aço-carbono, o que significa dizer que nas descontinuidades de sua camada o aço-carbono é protegido catódicamente. Portanto o revestimento de zinco protege o aço-carbono por dois mecanismos: por barreira associada ou não a proteção catódica, diferentemente dos revestimentos que atuam somente por barreira, como tintas e os revestimentos mais nobres que o aço-carbono, como o cobre.

Os mecanismos de proteção catódica do zinco ao aço-carbono não deve, no entanto, ser um processo rápido e contínuo durante a vida de uma peça zincada exposta a um dado meio, visto que, nestas condições, se estaria protegendo um material relativamente mais barato, o aço, à custa de um mais caro, o zinco. Esta proteção catódica, aparentemente, manifesta-se apenas nos estágios iniciais da exposição da peça e sempre que houver formação de uma descontinuidade por ação da própria corrosão do revestimento ou por ação mecânica. Nestas descontinuidades normalmente, ocorre a deposição dos produtos de corrosão do zinco que retardam o ataque corrosivo. Nestas condições de vida útil e os mecanismos de corrosão da superfície do aço-carbono zincado são compatíveis ao do zinco puro num determinado meio. Assim, a proteção da peça passa, a depender basicamente da velocidade de corrosão do zinco.

O aço-carbono zincado exposto a atmosfera, apresenta três estágios:

- Estágio Inicial, durante o qual se inicia a formação de uma camada aderente de produtos de corrosão, que desempenha uma função protetora ao revestimento de zinco;
- Segundo Estágio, com um período muito maior, durante o qual os produtos de corrosão podem interagir com o ambiente afetando a velocidade de corrosão do zinco;
- Estágio Final, no qual o aço é exposto progressivamente à ação da atmosfera.

O tempo de cada estágio dependerá de uma série de parâmetros relacionados à atmosfera de exposição como: condições climáticas, presença de contaminantes devido à atividade urbana ou industrial (gases poluentes) ou presença

de contaminantes salinos devido à proximidade de regiões costeiras.

O ciclo de corrosão do zinco em atmosferas externas, úmidas e isentas de contaminantes salinos ou de gases poluentes, como o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

#### Taxa de Corrosão do Zinco em diferentes atmosferas

A taxa de corrosão do revestimento de zinco depende principalmente do meio de exposição. Felizmente, devido ao fato do zinco ter sido um dos revestimentos mais estudados, são vastos, na literatura, os dados das taxas de corrosão obtidos em ensaios de corrosão atmosférica.

A tabela abaixo, apresenta um estudo das taxas de corrosão obtidas em países temperados e da América Latina:

TABELA I

TABELA DE TAXA DE CORROSÃO MÉDIA DO ZINCO EM DIFERENTES TIPOS DE ATMOSFERA

Atmosfera	Países Temperados	Países Latinos – Americanos	AST M. 1998
	Taxa de Corrosão (µm/ano)		
Rural	0,15 a 6,6	0,1 a 3,3	0,3
Rural-Urbana (Suburbana)	-	-	1,3
Urbana	1,1 a 0,65	0,8 a 1,8	1,5
Industrial	0,4 a 18,5	1,8	5,6
Marinha e Costeira	0,5 a 73,	0,2 a 7,1	1,5
Marinho-Industrial	1,8 a 33,5	0,5 a 8,6	-
Especial (próximo a vulcão)	-	1,58	-
Especial (com ventos fortíssimos)	-	26,53	-
Interna (Indoor)	-	-	<<0,5

Fontes: IPT – Almeida M.; Morcillo, 1998; Kajimoto; Almeida N.; Siqueira, 1991, ASTM, 1998.

É possível observar que a taxa de corrosão do zinco varia muito, mesmo em ambientes similares. Isto porque, esta taxa não depende apenas do tipo e do nível de contaminação, mas também das condições climáticas. Assim em duas atmosferas urbanas com o mesmo nível de contaminação em compostos de enxofre, o zinco poderá apresentar taxas de corrosão muito diferentes se as condições climáticas forem diferentes. Para poder prever a vida útil de um revestimento

de zinco, dever-se-ia, portanto, determinar a taxa de corrosão no ambiente em questão. Como isto, muitas vezes, não é possível, a Tabela de Taxa de Corrosão Média do Zinco em diferentes tipos de Atmosfera deve ser utilizada como ponto de partida. O valor a ser adotado deverá levar em consideração o tipo de atmosfera específica e deve ser escolhido com muito critério. Assim, por exemplo, se um revestimento de 50 µm de zinco é exposto a uma atmosfera cuja taxa de corrosão do zinco é de 2 µm/ano, a durabilidade estimada da estrutura revestida deverá ser de 25 anos.

#### Revestimento de zinco – Método de obtenção e características

A escolha do método de aplicação do revestimento de zinco é feita levando-se em consideração, entre outros fatores, a espessura do revestimento desejada, geometria, tamanho da peça e aspecto decorativo. Por exemplo, em termos de espessura de revestimento de zinco:

- A eletrodeposição é adequada para espessuras de até 40 µm e geralmente é utilizada para revestir peças no qual o aspecto decorativo é importante;
- A imersão a quente, em processo não-contínuo, é adequada para espessuras acima de 35 µm (ASTM, 1997) e em processo contínuo para espessuras na faixa de 4,2 µm a 54,6 µm (ASTM, 1999 a);
- A aspersão térmica é adequada para espessuras entre 50µm a 200µm (ISO, 1991).

Todos esses valores de espessura não são rígidos, podendo ser obtidos, por cada processo de aplicação espessuras menores ou maiores.

A imersão a quente é o processo mais utilizado para aplicar revestimentos de zinco em estruturas destinadas a exposições atmosféricas e em tubulações, onde o aspecto decorativo não é um requisito importante, como por exemplo, torres de transmissão elétrica, tubos de aço corrugado, componentes de estruturas de pontes, postes e outros. Além disso, a imersão a quente, em processo contínuo, é amplamente utilizada para a produção de chapas de aço-carbono zincadas, processo este que, aliás, possui uma grande competição de mercado com as chapas revestidas em processo eletrolítico.

#### Atividades Desenvolvidas ao Longo do Projeto

##### Aquisição de Materiais:

- Equipamento de impacto de pedra (gravelômetro) – a CTEEP adquiriu o equipamento de impacto de pedra da marca BASS, modelo UG-2006 que foi cedido ao IPT/FIPT durante a vigência do projeto (de 08/2005 até 07/2007), os ensaios são realizados conforme norma DIN EN ISO 11124-2 (DIN, 1993), utilizando granalha padronizada e DIN 55996-1 (DIN, 2001) para execução do ensaio de impacto de pedra.

- Chapas de aço-carbono: foram adquiridas 100 chapas de aço-carbono com dimensões de 150 mm x 100 mm x 4 mm. O aço-carbono das chapas foi classificado com COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) 1010 e 1020.

- Tintas: as tintas utilizadas nos esquemas de pintura foram definidas com base em sua aplicabilidade em campo e os produtos disponíveis em mercado para o sistema proposto. A tinta de aderência utilizada (primer) utilizou com o veículo a resina epoxídica isocianato bicomponente (óxido de ferro). A tinta de acabamento foi do tipo epoxídica bicomponente, curado com poliamida (Branca).

As chapas de aço tiveram suas rebarbas retiradas mecanicamente e um furo, com diâmetro de aproximadamente 6 mm foi feito para que as mesmas fossem enganchadas para o processo de zincagem.

Foram realizadas visitas a empresas de zincagem por imersão a quente e identificadas as condições que potencialmente contaminariam a superfície do aço zincado por imersão a quente.

O Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT realizou um trabalho com cinco prestadoras de serviço de zincagem acompanhando o revestimento de chapas, posteriormente analisadas por microanálise química qualitativa por espectrometria de dispersão de energia (EDS) em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e pela determinação dos teores de cloreto superficiais, por método de extração de água em ebulição. A partir dos resultados obtidos, nessas análises, foi possível definir as condições no processo de zincagem por imersão a quente (ZIQ) que causam maior contaminação da superfície do aço zincado por imersão a quente (AZIQ) com sal de cloreto. Verificou-se que o lançamento de sal de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (cloreto de amônia) sobre chapas de AZIQ no momento de remoção das mesmas do banho de zinco fundido causava uma maior contaminação com sal de cloreto da superfície de zinco.

O Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT, através de trabalhos correlatos verificou que nesse processo ocorria a contaminação da solução cromatizante (que é a etapa final do processo, no qual as peças de AZIQ são imersas imediatamente após a saída do banho de zinco) com os sais de cloreto, devido muito provavelmente ao arraste neste banho de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  lançado sobre as chapas de AZIQ no momento da saída do banho de zinco fundido. Verificou-se que as chapas de AZIQ submetidas à cromatização em solução cromatizante contaminadas com sal de cloreto, quando pintadas, apresentam desempenho contra a corrosão inferior ao das chapas de AZIQ pintadas que não foram submetidas à cromatização. Os piores desempenhos observados para as chapas pintadas de AZIQ cromatizadas foram atribuídos justamente à maior contaminação superficial com cloretos.

O projeto preparou 800 (oitocentas) chapas de aço zincado por imersão a quente.

Como pré-tratamento das chapas para pintura, foram adotados os seguintes métodos:

- Branco, amostras limpas somente com pano embebido no mesmo solvente utilizado para diluir as tintas;
- Desengraxante alcalino aquoso;
- Lavagem com água (isenta de areia) a alta pressão;
- Lixamento mecânico manual;

- Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente (60 °C).

A caracterização do revestimento do zinco das chapas de AZIQ dos quatro lotes quanto à espessura, uniformidade, aderência e identificação de presença ou não da camada de cromatização, foi realizada da seguinte forma:

- Espessura do revestimento de zinco foi realizada pelo método de atenuação do campo magnético. Em cada face das 800 chapas, foram feitas medidas em seis pontos delimitados por uma máscara. Em cada um desses pontos, foram realizadas três medidas e as médias destas foram consideradas como uma média local.

- Uniformidade do revestimento do zinco: o ensaio foi realizado em triplicata para as 800 chapas de AZIQ e seguiu os procedimentos descritos na norma NBR 7400 (ABNT, 1990 a), “Produto de aço ou ferro fundido – revestimentos de zinco por imersão a quente – verificação da uniformidade do revestimento”. Esse método foi utilizado para detectar regiões onde o revestimento de zinco é menos espesso ou onde há falhas de revestimento.

- Aderência do revestimento de zinco: o ensaio foi realizado em triplicata nas chapas, conforme norma NBR 7398 (ABNT, 1990 b): “Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente – verificação da aderência do revestimento”. O ensaio consiste em submeter a superfície de zinco a dois cortes paralelos, transversais e simétricos em relação a um mesmo eixo, feitos com um martelo no momento em que cai livremente sobre o corpo-de-prova.

- Rugosidade superficial do revestimento de zinco: as medidas foram realizadas com um rugosímetro da Marca Mitutoyo, modelo SJ, em três chapas de cada lote, em cinco extensões de cada, antes da execução dos pré-tratamentos de pintura e após a execução do pré-tratamento de lixamento mecânico manual.

- Análise qualitativa para identificação de  $\text{Cr}^{6+}$  na superfície das chapas de AZIQ: foram realizados ensaios em 03 chapas metálicas de cada lote (totalizando uma área de aproximadamente 990  $\text{cm}^2$ ), foram imersas em béqueres de 5 litros com uma solução de hidróxido de sódio (60 g/l) a 86°C, por cerca de dois minutos, em seguida o volume da solução é reduzido a 500 ml. Após filtragem, as soluções foram adicionadas em balão volumétrico e o seu volume completado para um litro. São retirados 15 ml e transferidos a tubos de ensaios após acidificação (com ácido fosfórico) e feita análise qualitativa, por meio de gotejamento de solução alcoólica de 1,5-difenilcarbazida. A identificação do cátion cromato é feita pela modificação da cor da solução que muda para violeta.

- Determinação do teor de cloretos superficial a chapas de AZIQ dos quatro lote, antes e após execução dos pré-tratamentos de pintura, o ensaio é feito imergindo as chapas em um béquer de 5 litros, preenchido com até 4 litros de água destilada – grau analítico do tipo 3, segundo a norma ISO 3696 (ISO, 1987) – em ebulição, juntamente com esferas de vidro isentas de contaminação. Antes da imersão, a água do béquer já se encontrava previamente em ebulição por 10 minutos. O tempo de extração foi de 60 minutos. Em seguida as chapas são retiradas, lavadas cuidadosamente

com água destilada quente, sendo a água de lavagem recolhida para o béquer de ensaio. Depois evapora-se a água do béquer até 250 ml e deixa-se o extrato resfriar. O volume é transferido para um balão volumétrico de 500 ml, onde é adicionada água destilada até atingir o volume do balão. As soluções são analisadas pelo método de espectrometria na região do ultravioleta visível (UV-Vis), num espectrômetro da Shimadzu, modelo UV-1203 com método colorimétrico, utilizando a reação de deslocamento com tiocianato de mercúrio II na presença de Ferro III, com leituras de absorvância em comprimento de onda de 460 nm. O limite de detecção da análise foi de 0,5 ppm de cloreto.

Aplicação de tintas dos esquemas de pintura nas chapas de AZIQ: as chapas de AZIQ foram imediatamente pintadas (com pistola de pulverização convencional) com a tinta de aderência e, após a cura desta, foram pintadas com tinta de acabamento.

Ensaio acelerado e não acelerado de corrosão e ensaio de acompanhamento:

- Exposição à umidade saturada: o ensaio é conduzido em câmaras de umidade saturada marca Equilam, modelo KEUM. As dimensões da câmara bem como as condições do ensaio – umidade relativa de 100% e temperatura de  $(40\pm 2)$  °C – obedeceram àquelas recomendadas pela NBR 8095 (ABNT, 1983).

- Ensaio não acelerado de corrosão: consiste em painéis de ensaio instalados com a superfície voltada para o norte geográfico, inclinados em 30° com relação ao plano horizontal, em duas estações de ensaio de corrosão atmosférica da CTEEP: Subestação do Limão na cidade de São Paulo, com atmosfera industrial (desativada em Junho/07 devido a necessidade do espaço como almoxarifado) e Subestação de Cubatão, na cidade de Cubatão, que possui atmosfera industrial.

- Ensaio de Acompanhamento de desempenho por aderência da película de tinta: foram feitos ensaios de corte e “X”, tração e impacto de pedra. Estes ensaios foram baseados, respectivamente, nas normas NBR 11003 (ABNT, 1987), ISO 4624 (ISO, 2002) e DIN 55996-1 (DIN, 2001) e estão sendo realizados em duas chapas de AZIQ pintadas de cada esquema de pintura. O ensaio é feito em duplicata para os ensaios de aderência por corte em “X” e tração e, numa única determinação para o ensaio de impacto de pedra.

- Ensaio de acompanhamento de desempenho por meio de exame visual para quantificação das bolhas – grau de empolamento: o ensaio acelerado (exposição em câmara úmida) e não acelerado (exposição atmosférica) de corrosão, as chapas pintadas de todos os esquemas de pintura estão sendo avaliadas visualmente a olho desarmado quanto ao aparecimento de bolhas (grau de empolamento) segundo critérios estabelecidos pela norma ASTM D 714:1987. A avaliação de desempenho dos esquemas de pintura por meio de avaliações de grau de empolamento, outras chapas AZIQ pintadas, também serão expostas em câmara de umidade por cerca de três semanas.

**Treinamento e obtenção de mapa de potencial por meio da técnica de sonda Kelvin de varredura (SKP) no Max-Planck Institute für Eisenforschung GmbH na Alemanha**

No laboratório de química de interface e superfície do Max-Planck Institute für Eisenforschung GmbH na Alemanha, chapas de AZIQ pintadas dos esquemas de pintura com dimensões de 5 cm x 5 cm, tiveram seus mapas de potenciais da interface metal/tinta obtidos por método de sonda Kelvin de Varredura (SKP, um ensaio não-destrutivo), após imersão em água destilada por cerca de 30 dias. As placas de AZIQ pintadas foram acopladas a uma mesa de varredura (varredura no plano x, y) cuja posição é controlada por microcomputador. Como sonda, um eletrodo de referência vibratório de aço Ni-Cr e com diâmetro de 60 µm foi usado. A posição z (altura) da sonda também foi controlada por computador. Os mapas de potencial foram obtidos em função do potencial padrão do hidrogênio, com a sonda calibrada com um eletrodo de cobre/sulfato de cobre, numa atmosfera com ar e a cerca de 94% de umidade relativa. Os mapas de potencial foram obtidos numa mesma área de varredura de 5 mm x 8 mm ( 5000 µm x 8000 µm).

### III CONCLUSÃO

Após este estudo será possível o desenvolvimento de uma norma técnica que possibilitará o controle da camada zinco, utilizado como forma de proteção anticorrosiva, bem como a elaboração de uma especificação técnica para a escolha da melhor técnica de pintura de chapas de aço zincadas por imersão a quente.

### IV AGRADECIMENTOS

O trabalho foi esforço da equipe técnica:

*IPT*

- Jean Vicente Ferrari – Químico
- Gislaïne M. Bragagnolo - Química
- Zehbour Panossian – Física
- Neusvaldo Lira de Almeida – Físico
- Márcio Bispo de Almeida - Técnico de Metalurgia

*CTEEP*

- Mário Carlos Andreoli – Engenheiro Químico – OMM
- Maureen Teresa Rose Fitzgibbon - PE

### IV – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Relatórios técnicos do projeto elaborado pelo IPT pela Professora Doutora Zehbour Passonian e pelo Eng. PhD. Luiz Eduardo Lopes.