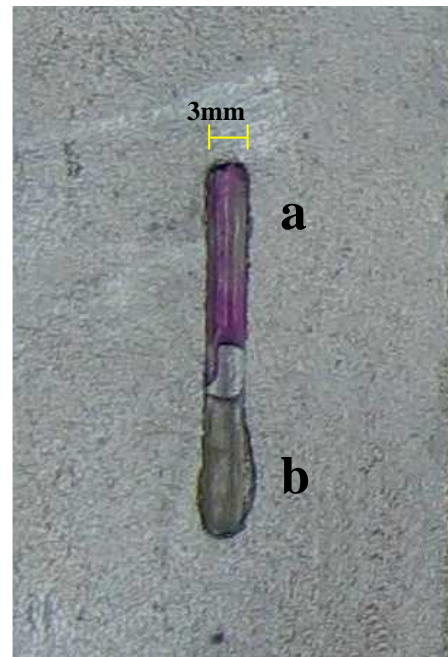




Fotografia 41 - Corpo-de-prova 7 - gota salina com fenolftaleína e ferricianeto de potássio



Fotografia 42 - Corpo-de-prova 8 - gota salina com a) fenolftaleína e ferricianeto de potássio e b) fenolftaleína



Fotografia 43 - Corpo-de-prova 9 - gota salina com ferricianeto de potássio e fenolftaleína

Tabela 14 - Resultados do ensaio da gota salina

Corpos-de-prova	Área exposta (mm <sup>2</sup> )	Resultado
7	9	A gota tornou-se imediatamente rosa, sem ocorrer a coloração azul.
8	90	a) A gota tornou-se imediatamente rosa. b) A gota permaneceu incolor sem tornar-se azul.
9	0	A gota tornou-se rosa após aproximadamente 10 minutos

No corpo-de-prova 7, a gota recobriu a área exposta e a borda do revestimento de zinco. É possível comparar esta situação com a imersão de uma peça em água do mar e os resultados obtidos comprovam isto. A coloração rósea indica que houve reação com o oxigênio dissolvido na gota e a ausência de coloração azul no substrato indica que a reação anódica não é do ferro. O mesmo ocorreu com o corpo-de-prova 8, área a, onde não foi notada a presença da reação do ferro, o qual está protegido pela camada de zinco ao redor da área exposta. No mesmo corpo-de-prova 8, área b a gota permaneceu incolor, o que comprova a afirmação anterior, caso contrário a gota tornar-se-ia azul.

O corpo-de-prova 9, o qual não possui área do substrato exposta, apresentou uma corrosão do zinco mais lenta, de aproximadamente 10 minutos, enquanto que nos experimentos anteriores as gotas tornaram-se imediatamente rosas.

O experimento de gota salina, de Evans, o qual simula a imersão dos corpos-de-prova em água do mar, pode comprovar que os corpos-de-prova com as geometrias de falhas avaliadas podem promover uma proteção catódica em distâncias de 3mm entre uma aresta e outra, nas condições do experimento. Por outro lado o revestimento estando íntegro pode proporcionar uma proteção por barreira ao substrato.

#### 4.4.3 Avaliação do desempenho do revestimento em câmara de névoa salina

Corpos-de-prova com diferentes áreas de exposição do substrato foram colocados em uma câmara salina durante 300 horas. A primeira avaliação ocorreu após 60 horas e os aspetos destes são apresentados nas Fotografias 44 a 48.

A Tabela 15 apresenta a descrição das características destes corpos-de-prova e as descrições destas superfícies após a exposição por 60 horas em câmara salina.

Este ensaio teve como finalidade verificar o comportamento do revestimento de zinco, no ensaio de câmara salina.



Fotografia 44 - Corpo-de-prova 10 -  
área exposta de 9mm<sup>2</sup>  
sem a presença de oxidação



Fotografia 45 - Corpo-de-prova 11 - área exposta  
de 25mm<sup>2</sup>  
sem a presença de oxidação



Fotografia 46 - Corpo-de-prova 12 - área exposta de 90mm<sup>2</sup>  
sem a presença de oxidação



Fotografia 47 - Corpo-de-prova 13 -  
área exposta 660mm<sup>2</sup>  
com a presença de pequenos pontos oxidação



Fotografia 48 - Corpo-de-prova 14 -  
área exposta 1080mm<sup>2</sup>  
com a presença de pontos de oxidação

Tabela 15 - Resultados do ensaio em câmara de névoa salina

Corpos de prova	Área exposta (mm <sup>2</sup> )	Resultado
10	9	Não apresentou evidências de oxidação
11	25	Não apresentou evidências de oxidação
12	90	Não apresentou evidências de oxidação
13	660	Foi notada a presença de pequenos pontos de oxidação
14	1080	Foi notada a presença de pontos de oxidação

Após as 60 horas de ensaio até a conclusão do mesmo, após as 300 horas, a evolução do processo de corrosão dos corpos-de-prova foi mínimo com relação ao detectado nas primeiras 60 horas do ensaio. Apesar de não conclusivo, este ensaio permitiu comprar o comportamento de falhas de processo de zincagem, em áreas e geometrias diferentes, que poderão se importantes para avaliação de viabilidade e avaliação de resultados em ensaios futuros.

Os resultados apresentados mostraram comportamentos similares com relação aos ensaios de exposição ao meio ambiente e ao teste de gota salina, onde pequenas áreas expostas são capazes de serem protegidas catodicamente pelo zinco ao redor. Os corpos-de-prova 10, 11, e 12, não apresentaram qualquer ponto de oxidação, o corpo-de-prova 13

apresentou a presença de pequenos pontos de ferrugem e o corpo-de-prova 14, apresentou pontos de oxidação mais significativos, conforme observado no ensaio de exposição dos materiais a atmosfera urbana.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na análise de falhas de revestimento de zinco de componentes de aço baixo carbono permitiram identificar as seguintes conclusões:

- não foi notada uma relação circunstanciada da microestrutura de grãos do substrato de aço com a ocorrência de danos na camada de zinco. Apesar da caracterização microestrutural de uma peça mostrar que a região de grãos deformados pela estampagem não ter provocado deslocamento, não é possível afirmar que esta microestrutura é melhor para a zincagem.
- a proteção galvânica do zinco sobre o aço ficou evidenciada quando o ataque metalográfico com Nital para revelar os grãos do aço se mostrou não-efetivo. A área de proteção galvânica do zinco sobre o aço foi superior que a própria espessura do revestimento, isto demonstra a necessidade de cuidados para avaliar a estrutura de amostras que possuem revestimentos de zinco ou de outro metal que exerça proteção catódica sobre o substrato.
- o revestimento da porca que apresentou defeito na camada de zinco (Fotografia 8), foi formado pelas camadas delta, zeta e eta. O intermetálico delta, o qual representa a maior parte deste revestimento, é considerado frágil. Na literatura, as microestruturas do revestimento apresentam a camada eta, fase mais dúctil, com espessura maior do que a presente na amostra avaliada, o que pode justificar o deslocamento ocorrido. A porca aprovada apresentou uma camada mais regular em relação à peça rejeitada e mais próxima as características encontradas na literatura. Com relação ao intermetálico eta, a peça aprovada possui uma maior quantidade da fase, mas ainda inferior ao verificado na literatura.
- os ensaios de corrosão evidenciaram um comportamento semelhante ao da literatura de formação rápida de ferrugem no início da exposição das peças seguidas por uma oxidação lenta. Os resultados obtidos com os três ensaios de corrosão sugerem um comportamento análogo da camada de zinco como revestimento protetor.
- a proteção catódica depende diretamente da distância existente entre as duas arestas do revestimento.
- a falta de informação exata da composição do banho utilizado e do procedimento de zincagem a quente utilizado em cada uma das amostras avaliadas, não permitiu identificar com precisão as causas das falhas ocorridas nas peças, porém é possível sugerir que cada

fase do processo seja melhor controlada com relação ao tempo, a temperatura, a composição química do banho e do substrato.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A seguir encontram-se algumas sugestões de trabalho que podem contribuir para o trabalho iniciado:

Estudo da influência da composição química do substrato sobre peças zincadas.

Estudo da variação da estrutura da camada de revestimento de zinco a quente, de acordo com a temperatura da água após a zincagem e o tempo de resfriamento.

Análise detalhada sobre a influência do fluxo no processo de zincagem, e os prejuízos que a operação realizada de modo incorreto pode causar.



## REFERÊNCIAS

ABCEM - Associação Brasileira da Construção Metálica. **Analisando o custo real do aço estrutural galvanizado**. São Paulo, ed. 78, p. 34, jan/fev 2007.

ABM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. Zincagem por imersão a quente. São Paulo, 1976.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6323, Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido- Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_.NBR 7398: Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente- Verificação da aderência do revestimento. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_.NBR 7399: Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente- Verificação da espessura do revestimento por processo não-destrutivo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_.NBR 7400: Produto de aço ou ferro fundido - Revestimento de zinco por imersão a quente - Verificação da uniformidade do revestimento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_.NBR 8094: Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição a névoa salina. Rio de Janeiro, 1983.

ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão. O que é corrosão?. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.abraco.org.br/corros1.htm>>. Acesso em: 10 set. 2007.

AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION. **Zinc coatings**. Disponível em: <<http://www.galvanizedit.org>>, acesso em: 23 out. 2008.

ASGARI, H; TOROGHINEJAD, M.R; GOLOZAR, M.A. On texture, corrosion resistance and morphology of hot-dip galvanized zinc coatings. *Science Direct, Applied Surface Science*, n. 253, p. 6769-6777, 2007.

ASHIRU, A; SHIROKOFF, J. Electrodeposition and characterization of tin-zinc alloy coatings. *Applied Surface Science*, n. 103, p. 159-169, 1996.

ASM HANDBOOK A. Surface engineering, v.5, 1994.

ASM HANDBOOK B. Corrosion, v.13, 1992.

BICAO, P; JIANHUA, W; XUPING, S; ZHI, L; FUCHENG, Y; Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing, *Science Direct, Surface & Casting Technology*, n. 202, p. 1785-1788, 2008.

CARBUCICCHIO, M; CIPRIAN, R; OSPITALI, F; PALOMBARINI, G; Morphology and phase composition of corrosion products formed at the zinc-iron interface of a galvanized steel, *Corrosion Science*, n. 50, p. 2605-2613, 2008.

CONSTRUÇÃO METÁLICA A. **Galvanizando a fogo amplia longevidade e desempenho do aço.** São Paulo, ed. 71, p. 34, jul/ago 2005.

CONSTRUÇÃO METÁLICA B. **Galvanizando a fogo torres e monopostos.** São Paulo, ed. 69, p. 14, mar/abr 2005.

CONSTRUÇÃO METÁLICA C. **Galvanizando a fogo: proteção simples e eficiente.** São Paulo, ed. 69, p. 28, mar/abr 2005.

CONSTRUÇÃO METÁLICA D. **O que é galvanização a fogo (zincagem por imersão a quente).** São Paulo, ed. 50, jan/fev 2002.

FURDANOWICZ, V; SHASTRY, C. R. Distribution of Aluminum in Hot-Dip Galvanized Coatings, *Metallurgical and Materials Transactions*, v. 30A, p. 3031-3044, 1999.

GALVINFO CENTER. **Hot-dip coated sheet products.** Disponível em:

<http://www.galvinfo.com>. Acesso em 23 out. 2008.

GENTIL, V. *Corrosão*. Rio de Janeiro: LTC, 1996. p. 19; 56; 236.

JORDAN, C.E. MARDER, A.R. Effect of Substrate Grain Size on Iron-Zinc Reaction Kinetics during Hot-Dip Galvanizing, *Metallurgical and Materials Transactions*, v. 28A, p. 2683-2694, 1997.

LIMA, G. *Influência da adição de diferentes concentrações de bismuto, níquel, estanho e alumínio sobre a espessura de camada, resistência a corrosão e brilho nos revestimentos galvanizados*, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2007.

MARDER, A.R. The metallurgy of zinc-coated steel, *Progress in materials Science*, v.45, p. 191-271, 2000.

PANOSSIAN, Z. *Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1993. 2 v.

PANOSSIAN, Z. Proteção contra corrosão atmosférica do aço por meio de revestimento metálicos de zinco, de alumínio e de ligas de zinco/alumínio. In: *Corrosión Y Protección de Metales en lãs Atmósferas de Iberoamérica, Parte II - Protección Anticorrosiva de metales em lãs atmosferas de Iberoamerica (RED TEMÁTICA PATINA,XV.D/CYTED)*. Madrid: 2002, p.253-268.

RAHRIG, P. G. Zinc Coatings on Handrails Tubing: A Comparative Analysis, *American Galvanizers Association*, Englewood: 2002.

SCHWEITZER, P. A. *Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals (Corrosion Engineer Handbook, 2nd ed.)* 2006, p.623-643.

SIDERURGIA BRASIL. Galvanização por imersão a quente - 1ª Parte.. Disponível em: <http://www.guiadasiderurgia.com.br/revistas/siderurgia-brasil/35/processos-e-produtos/galvanizacao-por-imersao-a-quente--1-parte>>, acesso em 23 out 2008.