

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO TESTE SAE J2334/MODO MANUAL EM DISTINGUIR A RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS REVESTIDOS COM ZINCO, FOSFATIZADOS E PINTADOS¹

Rodrigo José Alves Marques²
Evandro de Azevedo Alvarenga³
Geralda Cristina Durães de Godoy⁴
Mônica M. A. M. Schvartzman⁵

Resumo

A capacidade do teste SAE J2334:2003/Modo manual em diferenciar a resistência à corrosão de sistemas de pintura (aço, pré-tratamento e pintura) é discutida neste trabalho. Para tanto, avaliou-se a resistência à corrosão de aços ultrabaixo carbono livres de átomos intersticiais, eletrogalvanizado e galvanizados a quente com esquema de pintura automobilístico. Como resultado, verificou-se que foram necessários três testes SAE J2334/Modo manual completos (4320h ou 6 meses) para se obter dados mensuráveis e confiáveis; enquanto com o teste GM 9540P:1997 apenas um teste completo (1920h ou 2,6 meses). Para tornar o teste SAE J2334/Modo manual mais rápido é preciso atuar isoladamente ou em conjunto, na concentração dos agentes corrosivos, no tempo de pulverização de sua solução ou no período de superfície úmida dos corpos-de-prova expostos no teste. Além de mais rápido, é preciso que o teste acelerado de corrosão seja também confiável.

Palavras-chaves: Testes acelerados de corrosão; Aços revestidos com zinco; Pintura; Corrosão.

EVALUATION OF THE CAPACITY OF SAE J2334/MANUAL OPERATION TEST TO DISTINGUISH THE CORROSION RESISTENCE OF ZINC AND ZINC-IRON ALLOY STEELS PHOSPHATIZED AND PAINTED¹

Abstract

The capacity of the SAE J2334:2003/Manual operation test to distinguish the corrosion resistance of coating systems (steel, pre-treatment and painting) is discussed in this paper. Ultra-low carbon Interstitial free steels (ULC-IF), electrogalvanized, zinc and zinc-iron alloy hot-dip galvanized, phosphated and painted in the automotive industry, were evaluated in this work through two accelerated cyclic corrosion tests, SAE J2334/Manual operation and GM 9540P:1997. As a result, it was found that using the test SAE J2334/Manual operation took three completed tests (4320h or 6 months) to achieve measurable and reliable data, as with the test GM 9540P it took only one complete test (1920h or 2 to 3 months). To get the test SAE J2334/Manual operation's results quicker it is necessary to act alone or together on the concentration of corrosive agents and/or the time of exposure to salt solution and humidity conditions of the specimens exposed in the test. Besides being faster, it is also necessary that the accelerated corrosion test is reliable.

Key words: Accelerated corrosion test; Electrogalvanizing; Hot dip galvanizing; Painting; Corrosion.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia, CQE/ASQ, Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas, Ipatinga-MG.

³ Engenheiro Químico, Dr., CQE/ASQ, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.

⁴ Engenheira Metalurgista, Dra., Professora Associada do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG, Belo Horizonte, MG.

⁵ Engenheira Química, Dr.^a, Pesquisadora do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN, Belo Horizonte, MG.

1 INTRODUÇÃO

Os testes acelerados cíclicos de corrosão são empregados com o objetivo de selecionar sistemas de pintura. Um sistema de pintura inclui o aço, o pré-tratamento do metal e a pintura. Para isso o teste deve ser rápido, capaz de discernir a resistência à corrosão entre os materiais fosfatizados e pintados em avaliação e apresentar resultados mensuráveis e confiáveis.

A realização de testes não-acelerados de corrosão por exposição ao intemperismo natural pode demandar um tempo excessivo e comprometer toda uma estratégia de desenvolvimento de um novo produto, seja o aço ou a pintura, ou mesmo a especificação de um sistema aço/pintura para determinada aplicação. Esse problema é ainda mais crítico em aços revestidos com metais, fosfatizados e pintados; os quais ao proporcionarem uma melhor proteção anticorrosiva ao substrato metálico aumentam o tempo necessário para o desenvolvimento do processo corrosivo e, conseqüentemente, para a obtenção de resultados que permitam diferenciar o desempenho dos materiais.

Uma metodologia adequada para a avaliação da resistência à corrosão utilizando testes acelerados deve simular as condições ambientais reais a que o material será exposto, de modo que o mecanismo do processo corrosivo seja reproduzido o mais fielmente possível. Assim, a classificação de desempenho relativo entre os materiais obtida nos testes de corrosão seria equivalente, em princípio, àquela obtida em uma situação real.

Neste estudo avalia-se o teste SAE J2334:2003/Modo manual⁽¹⁾ comparativamente ao teste GM 9540P:1997,⁽²⁾ na classificação quanto a resistência à corrosão de aços revestidos ou não com zinco, fosfatizados e pintados na indústria automobilística. Segundo o procedimento do teste SAE J2334, pode-se realizá-lo tanto no modo automático, para os que possuem câmara de teste cíclico automática, como no manual, para quem não conta com esse tipo de equipamento.

Na Usiminas utiliza-se o modo manual porque as câmaras de testes cíclicos em atividade não mantêm simultaneamente a temperatura em 60°C e a umidade relativa em 50%, exigidas em uma das etapas do teste SAE J2334.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Substratos Metálicos

Corpos-de-prova de aços ultrabaixo carbono livre de átomos intersticiais (UBC-IF), eletrogalvanizado (Usigalve) e galvanizado a quente com e sem tratamento térmico da camada de zinco (Usigal-GA e Usigal-GI) cortados nas dimensões de 100 mm x 150 mm foram fosfatizados e pintados em uma indústria automobilística. O processo de fosfatização consistiu nas etapas de desengraxamento, enxágüe, ativação, fosfatização tricatiônica e, novamente, enxágüe. No processo de pintura aplicou-se, inicialmente, pintura cataforética com resina epóxi modificada, seguida de tintas de fundo e de acabamento de resina poliéster e verniz de resina acrílica de alto sólido.

Para determinar a composição química dos aços, o carbono e o enxofre foram determinados por combustão com detecção por infravermelho, utilizando-se o analisador LECO 444 LS da Leco Corporation; o alumínio por espectrometria de emissão ótica por plasma de acoplamento indutivo (ICPOES) com o auxílio do Spectroflame Modula da Spectro, e os demais elementos químicos por

espectrometria de fluorescência de raios-X utilizando-se o equipamento SRS 3000 Sequential X-Ray Spectrometer da Siemens.

Para medir a espessura e a aderência da película seca de tinta utilizou-se as normas NBR 10443⁽³⁾ e NBR 11003.⁽⁴⁾

2.2 Testes de Corrosão

Os corpos-de-prova fosfatizados e pintados tiveram suas bordas e regiões de furos protegidas por pintura epóxi. Em seguida, foram riscados com ferramenta de usinagem de modo a atingir o metal base⁽⁵⁾. Foram realizados dois testes acelerados cíclicos de corrosão: o SAE J2334:2003/Modo manual e o GM 9540P:1997.

2.2.1 Teste acelerado cíclico de corrosão segundo norma SAE J2334/Modo manual

Um teste SAE J2334/Modo manual⁽¹⁾ completo tem duração de 1440h, equivalendo a 60 ciclos de 24h. O procedimento de execução desse teste de segunda-feira a sexta-feira é o seguinte: i) 6 horas de exposição em câmara úmida saturada à temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; ii) aplicação de névoa salina mista (0,5% p/v de NaCl, 0,1% p/v de CaCl_2 e 0,075% p/v de NaHCO_3) durante 15 minutos, à temperatura ambiente e iii) 17h e 45 minutos em câmara seca com umidade relativa de $50\% \pm 5\%$ à temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Aos sábados e domingos os corpos-de-prova permanecem em câmara seca com umidade relativa de $50\% \pm 5\%$ à temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Nesse teste empregou-se três câmaras, sendo uma fabricada pela Erichsen (umidade saturada), outra pela Equilam (pulverização de solução salina) e a última pela Satake (umidade e temperatura controladas) (Figura 1). O teste SAE J2334/Modo manual apresenta período de superfície úmida⁽⁶⁾ de 18% e a taxa de corrosão em torno de $3,0 \text{ kg Fe/m}^2\cdot\text{ano}$. Essa taxa de corrosão foi medida durante o teste, utilizando-se cinco corpos-de-prova de aço carbono não revestido e sem pintura.



a) Câmara Erichsen



b) Câmara Equilam



c) Câmara Satake

Figura 1 - Câmaras utilizadas no teste SAE J2334/Modo manual.

2.2.2 Teste acelerado cíclico de corrosão segundo norma GM 9540P

O teste GM 9540P⁽²⁾ completo tem a duração de 1920h, correspondendo a 80 ciclos de 24h. Cada ciclo consiste nas etapas seguintes: i) aplicação de névoa salina mista (0,9% p/v de NaCl, 0,1% p/v de CaCl_2 e 0,25% p/v de NaHCO_3) durante 15 minutos, seguida de intervalos de 75 minutos câmara com umidade relativa entre 40% a 50%, à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Essa etapa deve ser repetida quatro vezes antes de passar para a seguinte; ii) 2h em câmara com umidade relativa entre 40% a 50%, à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; iii) 8h em câmara úmida com umidade relativa entre 95% e 100%, à $49^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; iv) 8h de câmara seca com umidade relativa menor que 30%, à $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A

câmara utilizada foi a Q-Fog da Q-Panel Company com volume de 1100 L (Figura 2). O período de superfície úmida⁽⁶⁾ e taxa de corrosão média do presente teste são de 37% e de 12 kg Fe/m².ano, respectivamente.



Figura 2 - Câmara Q-Fog da Q-Panel Company com volume de 1100 L para testes acelerados cíclicos de corrosão, utilizada no teste GM 9540P.

2.3 Avaliação dos Corpos-de-prova após os Testes de Corrosão

Os corpos-de-prova foram avaliados após um e três testes SAE J2334 completos (1440h e 4320h) e após um teste GM 9540P completo (1920h). O parâmetro utilizado para avaliar a resistência à corrosão foi o avanço médio de corrosão, medido por técnica de análise de imagem⁽⁷⁾ ao longo da danificação mecânica feita na película seca de tinta de cada corpo-de-prova.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Aços

Na Tabela 1 apresenta-se a composição química típica dos aços em estudo. A principal diferença, no que tange à composição química, está no agente estabilizador utilizado no processo de fabricação do aço Usigal-GA, ou seja, o titânio e o nióbio.

Tabela 1 - Composição química típica dos aços utilizados no estudo.

Tipo de aço	Elemento estabilizador	Composição química do aço (%p/p)				
		C	Mn	P	S	Al
UBC-IF	Ti	0,0012	0,12	0,010	0,007	0,040
Usigalve	Ti	0,0017	0,13	0,010	0,007	0,038
Usigal-GI	Ti	0,0013	0,13	0,011	0,010	0,050
Usigal-GA	Ti + Nb	0,0019	0,12	0,013	0,009	0,034

3.2 Determinação da Massa de Camada de Zinco, da Espessura e da Aderência da Película Seca de Tinta

De acordo com os resultados de massa de camada de zinco e de espessura da película seca de tinta, pode-se inferir que são semelhantes, ao nível de significância de 5%⁽⁸⁾ (Tabela 2). Com relação à aderência, não houve destacamento de tinta em nenhum dos aços.

Tabela 2 - Resultados de massa de camada de zinco, espessura e aderência de película seca de tinta.

Tipos de aço	Massa de zinco por face (g/m ²)	Película seca de tinta	
		Espessura ⁽³⁾ (μm)	Aderência ^(a)
UBC-IF	não tem	118,5	grau 0
Usigalve	59,8	118,5	grau 0
Usigal-GI	60,7	121,9	grau 0
Usigal-GA	61,4	119,9	grau 0

OBS.: a) grau 0 - nenhuma área da película destacada, grau 4 - área da película destacada cerca de 65% da área quadriculada⁽⁴⁾.

3.3 Teste Acelerado Cíclico de Corrosão SAE J2334/Modo Manual

De acordo com a análise estatística realizada com os dados da Figura 3, somente após 4320h de teste acelerado cíclico de corrosão SAE J2334 foi possível classificar os aços quanto à resistência à corrosão. Para o sistema de pintura avaliado o aço que apresentou a maior resistência à corrosão foi o Usigal-GA, seguido dos aços Usigalve, Usigal-GI e ultrabaixo carbono IF.

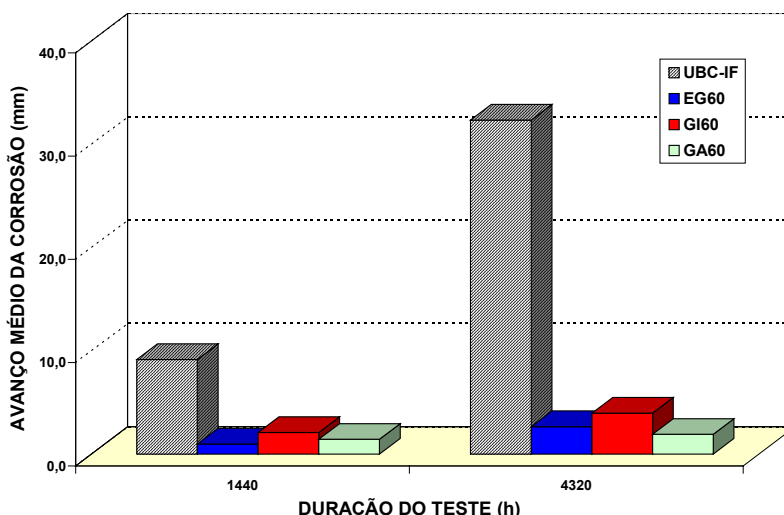


Figura 3 - Resultados de avanço médio da corrosão após teste acelerado cíclico de corrosão SAE J2334/Modo manual.

Com 1440h de teste, praticamente todos os aços revestidos com zinco apresentaram resultados semelhantes, ao nível de significância de 5%.⁽⁸⁾ Durante o transcorrer do teste, observou-se visualmente que com 2880h houve evolução do processo corrosivo, mas não o suficiente para distinguir a resistência à corrosão dos aços revestidos com zinco.

O fato do aço ultrabaixo carbono IF apresentar desempenho de resistência à corrosão inferior ao dos demais aços comprova a adequação do teste SAE J2334 em discernir a resistência à corrosão de aços fosfatizados e pintados, conforme comprovado em outros estudos.⁽⁹⁾

No entanto, por se tratar de teste acelerado de corrosão, o tempo de 4320h (três testes completos) despendido com o teste SAE J2334 para classificar os aços revestidos com zinco foi relativamente alto, correspondendo a seis meses de duração. Com um pouco mais de tempo (oito meses a nove meses) é possível realizar o teste de campo com aspersão de solução salina,⁽¹⁰⁾ com custos de

equipamento muito menores e resultados mais confiáveis; pois trata-se de um teste de exposição ao intemperismo natural, acelerado com aplicações semanais (uma, duas ou três vezes) de névoa de solução salina a 3% p/v de NaCl.

Conforme mostrado na Figura 4, o processo corrosivo presente nos corpos-de-prova ocorreu somente na região de danificação mecânica feita intencionalmente na película seca de tinta. Esse resultado mostra uma homogeneidade na aplicação do esquema de pintura e a adequação na proteção de bordas e furação.

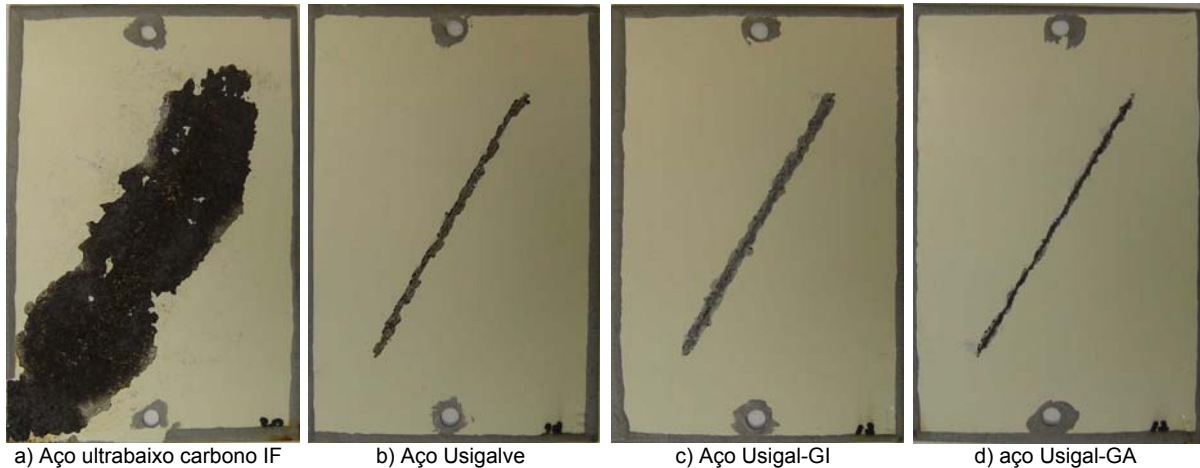


Figura 4 - Aspecto dos corpos-de-prova após 4320h (180 ciclos) de teste acelerado cíclico de corrosão SAE J2334/Modo manual.

3.4 Teste Acelerado Cíclico de Corrosão GM 9540P

Conforme apresentado na Figura 5, com apenas 1920h de teste GM 9540P, ou seja, um teste completo, já foi possível classificar os aços quanto à resistência à corrosão. O melhor resultado foi o do aço Usigal-GA, seguido pelos aços Usigalve, Usigal-GI e ultra baixo carbono IF. Essa classificação foi semelhante à obtida com o teste SAE J2334 com 4320h de duração descrito no item 0 e no teste de campo com aspersão de solução salina realizado em outro estudo.⁽¹⁰⁾ O aspecto dos corpos-de-prova após o presente teste confirma a classificação mencionada anteriormente (Figura 6).

Pelos aspectos dos corpos-de-prova após o teste GM 9540P, verifica-se, mais uma vez que o processo corrosivo ficou restrito à região da danificação mecânica; mostrando a uniformidade do esquema de pintura e a adequação das proteções de bordas e furação.

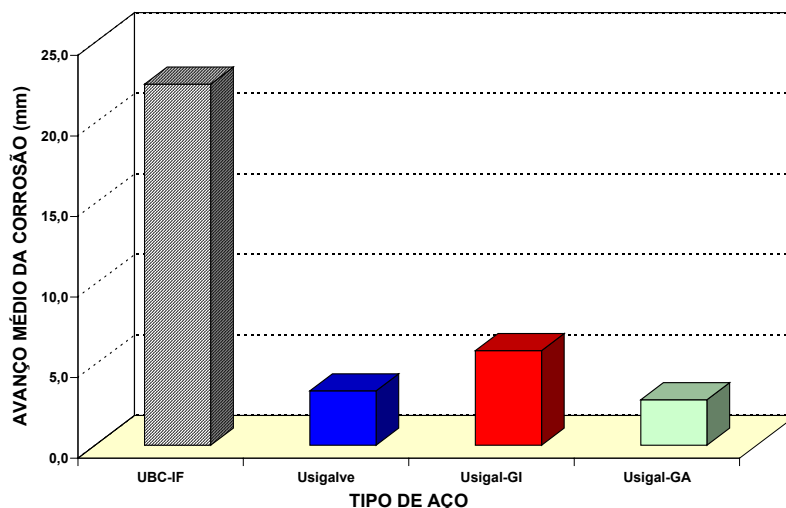


Figura 5 - Resultados de avanço médio da corrosão após 1920h (80 ciclos) de teste acelerado cíclico de corrosão GM 9540P.



a) Aço ultrabaixo carbono IF

b) Aço Usigalve

c) Aço Usigal-GI

d) aço Usigal-GA

Figura 6 - Aspecto dos corpos-de-prova após 1920h (80 ciclos) de teste acelerado cíclico de corrosão GM 9540P.

4 CONCLUSÕES

Com a melhoria do sistema de pintura praticado pela indústria automobilística, o tempo despendido nos testes acelerados cíclicos de corrosão aumentou de um modo geral. Em particular, o emprego do teste SAE J2334/Modo manual para avaliar a resistência de aços revestidos com zinco fosfatizados e pintados demanda muito tempo, podendo comprometer o desenvolvimento de melhorias e até mesmo de novos produtos. No presente estudo foram necessários entre 60 dias a 180 dias para classificar a resistência à corrosão dos aços, o que para um teste acelerado é um tempo elevado. Como no teste SAE J2334/Modo manual os corpos-de-prova ficam secos nos finais de semana e, conseqüentemente, interrompe-se o processo corrosivo, o tempo real em que os corpos-de-prova são submetidos a ciclos de umidificação e secagem e de ataque por agentes corrosivos, ou seja, em processo de corrosão, reduz em cerca de 30%. Essa situação pode exigir mais tempo de exposição dos corpos-de-prova para a obtenção de resultados significativos. Além disso, a concentração de sais na solução de aspersão do teste SAE J2334 foi abrandada propositalmente pela equipe que o elaborou,⁽¹¹⁾ tornando-o menos

agressivo, o que reforça a necessidade de maior tempo de teste comparativamente ao GM 9540P.

Para os laboratórios que não possuem câmara de teste automática capaz de executar o teste em questão, a solução é substituí-lo por outros mais rápidos. Além disso, pode-se também atuar na concentração e no tempo de aspersão de solução salina ou ainda no período de superfície úmida dos corpos-de-prova.

Sugere-se como alternativa ao teste SAE J2334/Modo manual a utilização do teste GM 9540P⁽²⁾ ou do teste de campo com aspersão de solução salina descrito na norma ISO 11474.^(10,12)

Pretende-se em estudos futuros avaliar a adequação do teste SAE J2334 na condição automática em discernir aços fosfatizados e pintados.

REFERÊNCIAS

- 1 STANDARD SAE J2334 - Laboratory Cyclic Corrosion Test - SAE J2334. SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, Dec./2003.
- 2 STANDARD GM 9540P - Accelerated Corrosion Test. GENERAL MOTORS ENGINEERING STANDARDS, Dec./1997.
- 3 NORMA NBR 10443 - Tintas - Determinação da Espessura da Película Seca. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, agosto/1988.
- 4 NORMA NBR 11003 - Tintas - Determinação da Aderência. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, abril/1990.
- 5 NORMA NBR 8754 - Corpos-de-prova Revestidos e Expostos a Ambientes Corrosivos. Método de Avaliação. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, fevereiro/1985.
- 6 ALVARENGA, E. A.; CARNEIRO, R. A.; MIRANDA, F. J. F. - Ensaios de Corrosão para a Indústria Automobilística. IN: CONGRESSO 2001 SAE BRASIL SAE, nov./2001.
- 7 ALVARENGA, E. A.; GONÇALVES, M. M. F.; CARNEIRO, R. A. - Utilização de Tecnologia a Laser para Avaliação de Ensaios de Corrosão. IN: 56º CONGRESSO ANUAL DA ABM. Belo Horizonte-MG, 16 a 20 de julho de 2001.
- 8 COSTA NETO, P. L. O - Estatística. EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA. São Paulo, 1992.
- 9 ALVARENGA, E. A., MOREIRA, J. G.; BUONO, V. T. L. - Influência da Massa da Camada de Zinco na Resistência à Corrosão de Aços Eletro galvanizados Fosfatizados e Pintados. IN: 61º Congresso Anual da ABM – Rio de Janeiro, RJ, 24 a 27 de Julho de 2006.
- 10 MARQUES, R. J. A.; ALVARENGA, E. A.; MOREIRA J. G.; GODOY, G. C. D.; SCHVARTZMAN, M. M. A. M. - Resistência à Corrosão de Aços IF, Revestidos com Zinco e Ligas de Zinco-ferro, Fosfatizados e Pintados na Indústria Automobilística. IN: INTERCORR 2008. 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO E 2º INTERNATIONAL CORROSION MEETING. Recife-PE, 12 a 16 de maio de 2008.

- 11 LUTZE, F. W.; McCUNE, D. C.; SHAFFER, R. J.; SMITH, K.; THOMPSON, L. S.; TOWNSEND, H. E. - Interlaboratory Testing to Evaluate Improvements in the Precision of the SAE J2334 Cyclic Corrosion Test. IN: GALVATECH 2001: 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ZINC AND ZINC ALLOY COATED STEEL SHEET, pp. 287-294. Brussels, Belgium, 26-28 June 2001.
- 12 STANDARD ISO 11474 - Corrosion of metals and Alloys - Corrosion Tests in Artificial Atmosphere - Accelerated Outdoor Test by Intermittent Spraying of Salt Solution. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1993.