

# RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS GALVANNEALED APÓS 3 ANOS DE TESTE DE CAMPO COM ASPERSÃO DE SOLUÇÃO SALINA<sup>1</sup>

Evandro de Azevedo Alvarenga<sup>2</sup>  
Vanessa Cunhas Freitas Lins<sup>3</sup>

## Resumo

Apresenta-se, neste estudo, resultados de três anos de testes de campo com aspersão de solução salina (ISO 11474) realizados com aços galvanizados por imersão a quente com tratamento térmico da camada de zinco (*galvannealed*). Como referência de desempenho, foram utilizados aços eletrogalvanizado e galvanizado por imersão a quente sem tratamento térmico da camada de zinco (*hot dip galvanized*). O esquema de pintura empregado foi o automobilístico, envolvendo fosfatização e pintura propriamente dita. De acordo com os resultados deste estudo, concluiu-se que o aço *galvannealed* apresentou o melhor desempenho de resistência à corrosão. Atribui-se à morfologia da liga zinco-ferro presente no revestimento metálico dos aços *galvannealed* o melhor desempenho de resistência à corrosão desses aços, pois confere superfície de aderência mais adequada ao sistema de pintura.

**Palavras-chave:** Resistência à corrosão; Revestimento metálico; Morfologia; Pintura.

## CORROSION RESISTANCE OF GALVANNEALED STEELS AFTER 3 YEARS OF OUTDOOR CORROSION TEST WITH SALINE SOLUTION SPRAYING

### Abstract

The results of three years of outdoor corrosion tests with saline solution spraying (ISO 11474) performed in hot-dip galvanized steel with heat treatment of the zinc layer (*galvannealed*) were presented. As a reference of performance, electrogalvanized steels and hot dip galvanized steels without heat treatment of zinc coating were also studied. The paint scheme used was automotive, involving phosphating and painting itself. According to the results, the *galvannealed* steel showed the highest corrosion resistance caused by the morphology of zinc-iron alloy present in the metallic coating of the *galvannealed* steels because it adds more grip surface suitable for painting system.

**Key words:** Corrosion resistance; Metallic coating; Morphology; Painting.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Dr., Engenheiro Químico, CQE/ASQ, Pesquisador Usiminas. [evazal@hotmail.com](mailto:evazal@hotmail.com).

<sup>3</sup> Membro da ABM, Dr.<sup>a</sup> Sc., Prof.<sup>a</sup> Associada do Departamento de Engenharia Química da UFMG, Belo Horizonte, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de pintura automobilística evoluiu de tal forma que, além da multiplicidade de cores disponível, e do maior brilho e elasticidade da pintura, cores vibrantes restritas a certos nichos esportivos invadem o segmento de carros populares, como o verde e o azul que remetem à ecologia e à sustentabilidade. O sistema de pintura automobilística apresenta também melhor resistência química e tribológica, além de resistência à corrosão atmosférica. Para atingir esse desempenho, o setor automobilístico investiu em novos tipos de resinas orgânicas, tais como tinta de acabamento à base de resinas acrílica/poliéster/melamínica e vernizes formulados com resinas acrílica/melamínica e também na utilização de substratos metálicos mais resistentes à corrosão atmosférica, aços eletro galvanizados e galvanizados por imersão a quente.

A garantia de resistência à corrosão oferecida pelo setor automobilístico para veículos de passageiros evoluiu muito desde as metas iniciais estabelecidas nos Estados Unidos, Canadá e Norte da Europa, incluindo o Código I do Canadá (5-10, 1978), Código II do Canadá (1981), Código Nórdico (3-6, 1983) e a garantia 10-5-2-1 proposta pelas três grandes montadoras dos EUA (General Motors Corp, Ford Motor Corp, Daimler Chrysler Corporation, 1989). As medidas para atingir essas metas foram rapidamente adotadas por outros países onde se aplica cloreto de sódio nas estradas para degelo de neve. Na década passada, a indústria automobilística europeia propôs garantia de 12 anos contra corrosão para incentivar a reutilização de seus veículos usados. Com isso, os requisitos de resistência à corrosão de automóveis na Europa e nos Estados Unidos tornaram-se cada vez mais rígidos.

Neste estudo, são apresentados os resultados de resistência à corrosão dos principais aços com revestimentos metálicos empregados pela indústria automobilística nacional.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Materiais

Os aços laminados a frio utilizados foram o aço ultra-baixo carbono tipo *intersticial free* (IF), o eletro galvanizado (EG) e os galvanizados por imersão a quente sem e com tratamento térmico da camada de zinco (GI e GA). O substrato dos aços recobertos foi o aço ultra-baixo carbono. Corpos-de-prova desses aços foram obtidos a partir de bobinas industriais. As massas de revestimentos metálicos dos aços EG e GI foram de 60/60 g/m<sup>2</sup> e a dos aços GA de 40/40 g/m<sup>2</sup> e 60/60 g/m<sup>2</sup>.

### 2.2 Preparação de Corpos-de-prova

Os corpos de prova para os testes eletroquímicos foram desengraxados com solução a 3% p/v de Parco Cleaner B 117 da Henkel.

Os corpos de prova para os testes de corrosão foram processados em uma indústria automobilística. O fosfato utilizado foi o tricatiônico e a pintura consistiu das seguintes etapas: pintura eletroforética com resina epóxi modificada, tintas de fundo e de acabamento de resina poliéster e verniz acrílico alto sólido.

As bordas e as regiões de furos de cada corpo 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 distância da extremidade do risco até as bordas de 20 mm, seguindo norma NBR 8754.<sup>(1)</sup> Na Figura 1 tem-se o aspecto de corpo de prova após esse procedimento.



**Figura 1** – Corpo de prova com danificação mecânica intencional na película seca de tinta para teste de corrosão. Bordas e regiões de furos protegidas com tinta bicomponente epóxi poliamida.

### 2.3 Avaliação da Película Seca de Tinta

A espessura de película seca de tinta foi medida conforme norma NBR 10443<sup>(2)</sup> e a aderência pelo método de tração. Para se medir a aderência da película seca de tinta, cola-se sobre essa película pinos de arrancamento de diâmetro de 12,7 mm. O adesivo empregado é do tipo bicomponente: endurecedor Aradur 1012 (poliamina alifática) da Huntsman e resina epóxi líquida DER 383 da Dow Plastics (*Dow Chemical Company*), na proporção de 35/65 partes/partes. A seguir, os pinos são destacados mediante teste de tração mecânica, empregando-se medidor pneumático para teste de aderência PATTI modelo 110 da Elcometer.

### 2.4 Avaliação da Morfologia do Revestimento Metálico

A morfologia dos cristais de zinco dos aços revestidos foi avaliada usando-se microscopia eletrônica de varredura, empregando-se 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.

### 2.5 Avaliação da Resistência à Corrosão

Após testes de corrosão, os corpos de prova foram avaliados quanto ao avanço médio e à penetração máxima de corrosão. O avanço médio de corrosão representa o quanto a película seca de tinta desprende-se da superfície do substrato metálico ao longo da danificação mecânica e está relacionada à corrosão cosmética do produto. 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 e está correlacionada à resistência estrutural do aço.

## 2.6 Testes de Corrosão

### 2.6.1 Teste acelerado cíclico de corrosão conforme norma SAE J2334

O teste SAE J2334<sup>(Erro! A origem da referência não foi encontrada.)</sup> tem duração de 1.440 horas, equivalendo a 60 ciclos de 24 horas. Os corpos de prova foram submetidos a três testes completos, ou seja, 180 ciclos. O procedimento de execução deste teste está descrito na Tabela 1.

**Tabela 1** – Procedimento para execução do teste SAE J2334<sup>(Erro! A origem da referência não foi encontrada.)</sup>

ETAPAS DO TESTE	CONDIÇÕES DE TESTE <sup>(a)</sup>	PERÍODO DE EXPOSIÇÃO (dia da semana)						
		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
<b>1ª Etapa</b> CÂMARA ÚMIDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>umidade relativa: &gt; 95%</li> <li>temperatura do teste: 50 °C ± 2°C</li> </ul>	6 horas	6 horas	6 horas	6 horas	6 horas	X	X
<b>2ª Etapa</b> CÂMARA NÉVOA SALINA	<ul style="list-style-type: none"> <li>solução salina: 0,5% p/v de NaCl + 0,1% p/v de CaCl<sub>2</sub> + 0,075% p/v de NaHCO<sub>3</sub>,</li> <li>temperatura do teste: ambiente</li> </ul>	15 minutos	15 minutos	15 minutos	15 minutos	15 minutos	X	X
<b>3ª Etapa</b> CÂMARA SECA	<ul style="list-style-type: none"> <li>umidade relativa: 50% ± 5%</li> <li>temperatura do teste: 60 °C ± 2 °C</li> </ul>	17 horas e 45 minutos	17 horas e 45 minutos	17 horas e 45 minutos	17 horas e 45 minutos	17 horas e 45 minutos	X	X
<b>4ª Etapa</b> CÂMARA SECA	<ul style="list-style-type: none"> <li>umidade relativa: &lt; 50% ± 5%</li> <li>temperatura do teste: 60 °C ± 2 °C</li> </ul>	X	X	X	X	X	24 horas	24 horas

OBS.: a) O período de superfície úmida desse teste é de 18% e a taxa de corrosão prevista é de 3,0 kg Fe/m<sup>2</sup>.ano

### 2.6.2 Teste acelerado cíclico de corrosão conforme norma GM 9540P

O teste GM 9540P<sup>(Erro! A origem da referência não foi encontrada.)</sup> completo tem a duração de 1.920 horas, correspondendo a 80 ciclos de 24 horas. Os corpos de prova foram submetidos a dois testes completos, equivalendo a 160 ciclos. Na Tabela 2 tem-se a descrição do presente teste.

**Tabela 2** – Procedimento para execução do teste GM 9540P<sup>(Erro! A origem da referência não foi encontrada.)</sup>

ETAPA DO TESTE		CONDIÇÕES DE TESTE <sup>(a)</sup>	
<b>1ª Etapa</b>	aplicação de névoa salina mista durante 15 minutos	0,9% p/v de NaCl + 0,1% p/v de CaCl <sub>2</sub> + 0,25% p/v de NaHCO <sub>3</sub> , pH= 6,0 a 8,0	repetir 4 vezes antes da próxima etapa
	intervalo de 75 minutos	câmara úmida a 25°C ± 2°C, sem aplicação de névoa	
<b>2ª Etapa</b> - 2 horas em câmara úmida		25°C ± 2°C e umidade relativa menor 30%	
<b>3ª Etapa</b> - 8 horas em câmara úmida		49°C ± 2°C e umidade relativa entre 95% e 100%	
<b>4ª Etapa</b> - 7 horas em câmara seca		60°C ± 2°C e umidade relativa menor que 30%	
<b>5ª Etapa</b> - 1 hora em câmara seca		25°C ± 2°C e umidade relativa menor que 30%	

OBS.: a) Período de superfície úmida desse teste é de 48% e a taxa de corrosão prevista é de 12,0 kg/m<sup>2</sup>.ano

## 2.7 Teste Acelerado de Campo com Aspersão Intermitente de Solução Salina

O teste de campo com aspersão intermitente de solução salina é realizado expondo-se os corpos de prova em estações de corrosão atmosférica padronizadas.

Durante a exposição ao intemperismo natural, os corpos de prova receberam duas vezes por semana (terça-feira e sexta-feira) aspersão de solução salina a 3% p/v de cloreto de sódio (NaCl), seguindo norma ISO 11474.<sup>(3)</sup>

O período de superfície úmida deste teste foi em torno de 50%<sup>(3)</sup> e corrosividade média de 2,6 kg Fe/m<sup>2</sup>.ano, bem acima daquela em ambiente marinho (~0,6 kg Fe/m<sup>2</sup>.ano<sup>(5)</sup>), cuja classificação é C5,<sup>(4)</sup> ou seja, agressividade muito alta.

O teste de campo com aspersão de solução salina requer tempo menor de exposição que o teste não acelerado de corrosão atmosférica e apresenta custo de execução mais baixo em relação aos testes acelerados cíclicos de corrosão realizados em laboratório. Dependendo do número de aspersões semanais aplicadas sobre os corpos de prova, o tempo de teste pode ser reduzido sem comprometer o mecanismo de corrosão.<sup>(6)</sup>

## 2.8 Análise de Mecanismo de Corrosão por Microscopia Eletrônica de Varredura

Para análises de mecanismo de corrosão utilizou-se o mesmo microscópio eletrônico de varredura descrito no item 2.4.

## 2.9 Resistência à Polarização

A resistência à polarização foi obtida a partir de teste de impedância eletroquímica. Esse teste foi realizado após estabilização de potencial de circuito aberto em solução 3,42 mol.L<sup>-1</sup> NaCl + 0,35 mol.L<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, pH 4,5. O equipamento empregado foi o Autolab PGSTAT302N da Metrohm com modulo FRA. A faixa de frequência estudada foi de 20 kHz a 1 mHz, com amplitude de potencial de ± 10 mV e com total de 60 pontos lidos.

Os resultados foram adquiridos a partir de gráficos de Bode, |Z| em Ω.cm<sup>2</sup> versus frequência em hertz.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Teste Acelerado de Campo com Aspersão Intermitente de Solução Salina

Segundo os dados mostrados na Tabela 3 e Figura 2, os aços revestidos com zinco e suas ligas apresentaram resistência à corrosão superior à do aço ultra-baixo carbono IF (sem revestimento metálico), evidenciando a importância do revestimento metálico para a qualidade e vida útil dos produtos fabricados com aço.

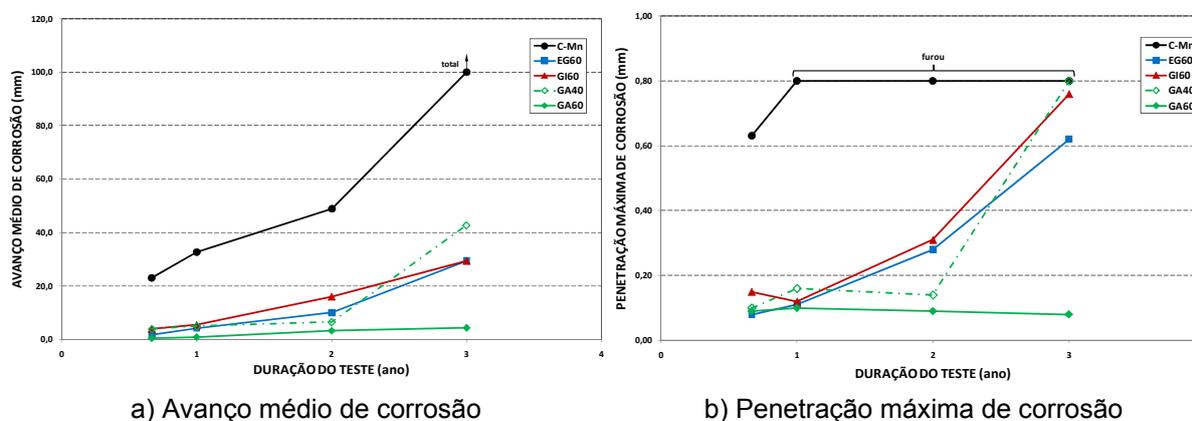
Além disso, a duração do teste de corrosão foi importante na classificação de desempenho dos aços. Nos dois primeiros anos de exposição, a resistência à corrosão do aço GA 40/40 g/m<sup>2</sup> foi melhor que a dos aços EG e GI. Mas, no terceiro ano de exposição houve um aumento abrupto na taxa de avanço médio e penetração máxima de corrosão do aço GA 40/40 g/m<sup>2</sup> e seu desempenho de resistência à corrosão foi inferior ao dos aços EG e GI, chegando o aço GA 40/40 g/m<sup>2</sup> a furar.

A massa de revestimento metálico também influenciou na resistência à corrosão dos aços, conforme mostrado na Tabela 3 e Figura 3. Quanto maior a massa de revestimento metálico menores foram o avanço médio e a penetração máxima de corrosão. Assim, no presente teste, a classificação de melhor resistência à corrosão foi a seguinte: GA 60/60 g/m<sup>2</sup> > EG ≈ GI > GA 40/40 g/m<sup>2</sup> > aço carbono.

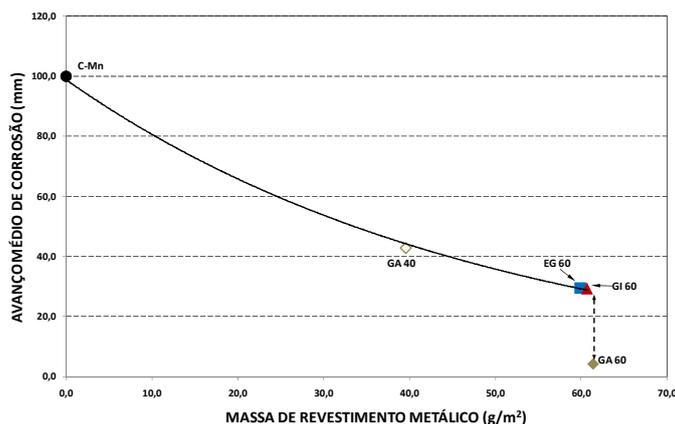
**Tabela 3** – Resultados de espessura e aderência de película seca de tinta, de avanço médio e penetração máxima de corrosão e de percentagem de área oxidada de teste de campo com aspersão intermitente de solução salina. Corpos de prova preparados em indústria automobilística

TIPO DE AÇO	PELÍCULA SECA DE TINTA		RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO <sup>(a)</sup>								
			AVANÇO MÉDIO (mm)				PENETRAÇÃO MÁXIMA (mm)				ÁREA OXIDADA (%)
	ESPESSURA (μm)	ADERÊNCIA (MPa) <sup>(a)</sup>	8 meses	1 ano	2 anos	3 anos	8 meses	1 ano	2 anos	3 anos	3 anos
Aço ultra-baixo carbono	121 ± 7,5	0,55 ± 0,05 97% A/C	23,0	32,7	48,9	des-truído	0,63	furou	furou	furou	100
EG 60/60 g/m <sup>2</sup>	124 ± 7,2	2,02 ± 0,23 0% A/C	1,7	4,2	10,0	29,4	0,08	0,11	0,28	0,62	22
GI 60/60 g/m <sup>2</sup>	116 ± 14,4	0,63 ± 0,06 86% A/C	4,0	5,4	16,0	29,3	0,15	0,12	0,31	0,76	21
GA 40/40 g/m <sup>2</sup>	122 ± 12,2	2,29 ± 0,05 0% A/C	3,9	5,0	6,5	42,7	0,10	0,16	0,14	furou	35
GA 60/60 g/m <sup>2</sup>	133 ± 5,5	2,10 ± 0,10 0% A/C	0,5	0,9	3,2	4,3	0,09	0,10	0,09	0,08	3

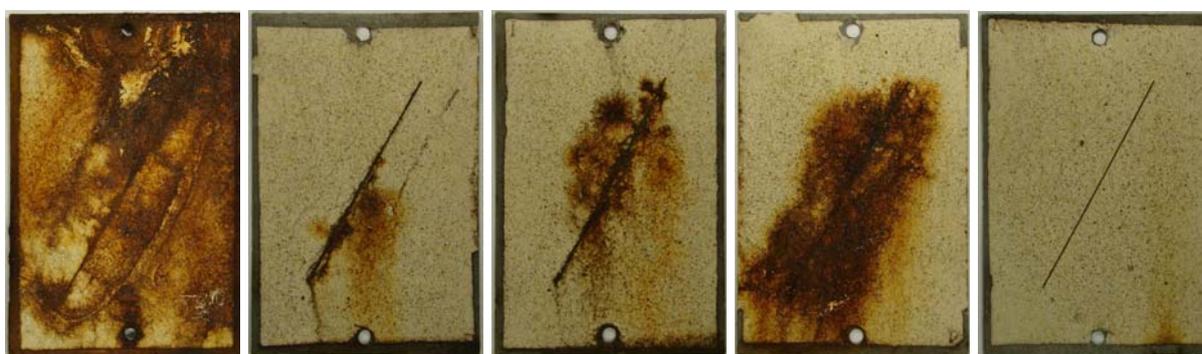
OBS.: a) Taxa de corrosão medida durante o teste: 2,6 kg Fe/m<sup>2</sup>.ano.  
b) Porcentagem de interface de destacamento, sendo A = aço e C = tinta cataforética



**Figura 2** - Resultados de 3 anos de exposição de teste de campo com aspersão intermitente de solução salina.



**Figura 3** - Influência da massa de revestimento metálico no avanço médio de corrosão após 3 anos de teste de campo com aspersão intermitente de solução salina.



a) Ultra-baixo Carbono IF    b) EG 60/60 g/m<sup>2</sup>    c) GI 60/60 g/m<sup>2</sup>    d) GA 40/40 g/m<sup>2</sup>    e) GA 60/60 g/m<sup>2</sup>

**Figura 4** - Aspecto de corpos de prova preparados após três anos de teste de campo com aspersão intermitente de solução salina. Corpos de prova preparados em indústria automobilística.

Observa-se, também, nos resultados mostrados nas Figuras 3 e 4 que o tipo de revestimento metálico interferiu na resistência à corrosão dos aços. Segundo essa figura, entre os aços EG, GI e GA com massa de revestimento de 60/60 g/m<sup>2</sup>, o aço GA apresentou menor avanço médio de corrosão (quase sete vezes menos). Esse resultado foi possível devido à morfologia do revestimento metálico do aço GA; que por apresentar fases intermetálicas intermediárias de Fe-Zn possui aspereza que ajuda na fixação do esquema de pintura, melhorando sua aderência (Tabela 3). A morfologia do revestimento metálico do aço GA 40/40 g/m<sup>2</sup> também explica o fato de seu desempenho ter sido melhor que o dos aços EG e GI nos dois primeiros anos de exposição. No entanto, como sua massa de revestimento metálico era menor, sua proteção por barreira e catódica também foi menor e ao ser consumida pelo processo corrosivo deixou o aço exposto às condições ambientais, permitindo a aceleração do processo corrosivo a partir do terceiro ano de exposição (Figuras 2 e 4). No aço carbono, a ausência de revestimento metálico fez com que o processo corrosivo fosse mais intenso logo no primeiro ano de exposição.

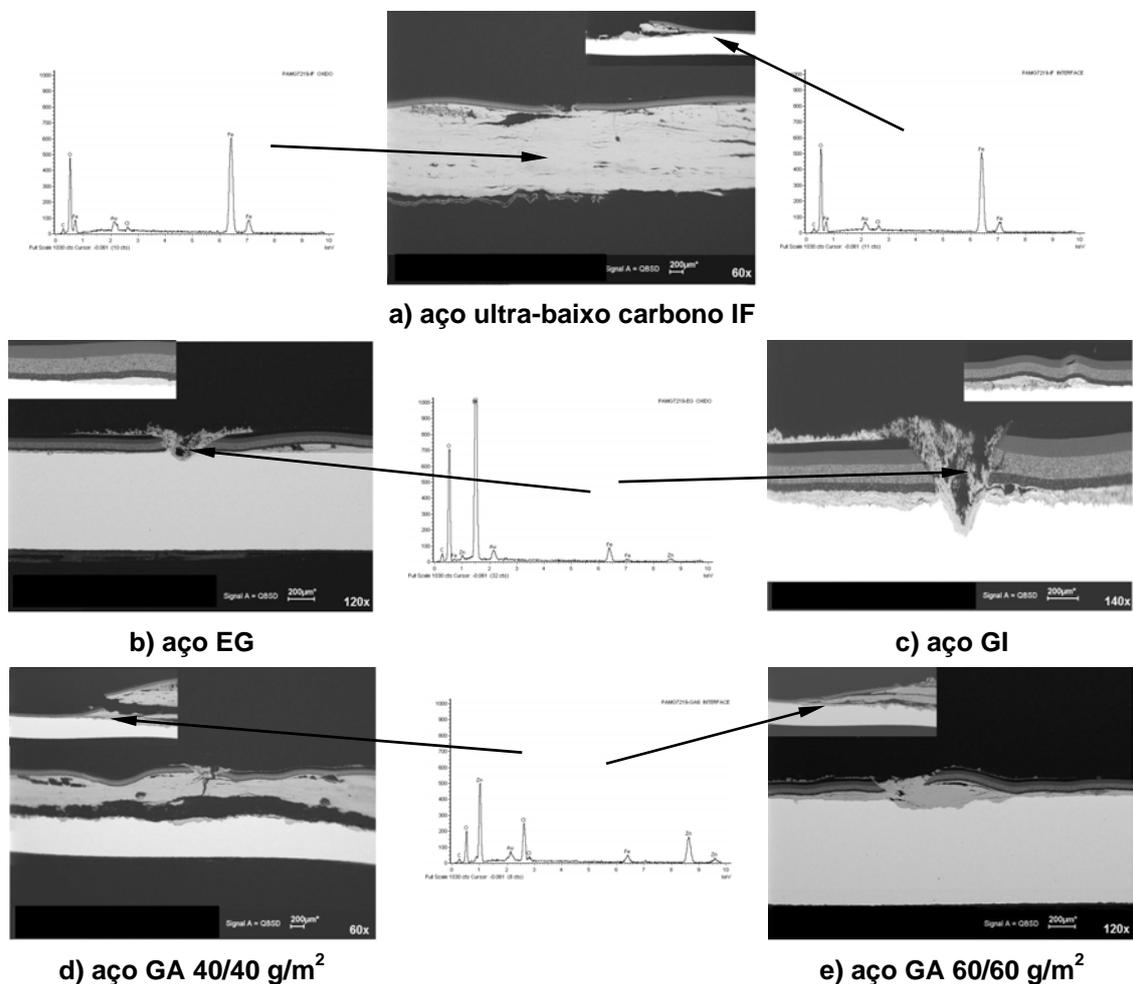
### 3.2 Análise do Mecanismo de Corrosão do Teste Acelerado de Campo com Aspersão Intermitente de Solução Salina

De acordo com as fotos de seção transversal mostradas na Figura 5, o processo corrosivo foi fortemente influenciado pela natureza do produto de corrosão, que no transcorrer do teste avançou sob a película seca de tinta, estufando e

desprendendo-a do substrato metálico, formando assim novas frentes de corrosão (efeito cunha).

Esse processo corrosivo foi mais acentuado no aço carbono, pois seus óxidos são mais volumosos (espessura > 3,0 mm) e menos aderentes, comparativamente aos dos aços EG, GI, GA 40/40 g/m<sup>2</sup> e GA 60/60 g/m<sup>2</sup>, cujas espessuras de óxidos foram de 0,2 mm, 0,7 mm, 2,5 mm e 0,3 mm, respectivamente. O menor volume do produto de corrosão desses aços revestidos está relacionado à natureza de seus óxidos, que são inicialmente mais isolantes, quando na forma de hidróxido de zinco, e do tipo semiconductor, quando na forma de óxidos de zinco. Esses tipos de óxidos atuam como barreiras elétricas para a passagem de elétrons, inibindo a semi-reação catódica de corrosão e, conseqüentemente, o crescimento dos óxidos.

A presença de íons cloreto na frente de corrosão comprova que o mecanismo de corrosão do presente teste é o de delaminação catódica. Esse tipo de mecanismo, semelhante ao observado em testes de exposição ao intemperismo natural, promove a dissolução de camadas de fosfato e de zinco, criando condições propícias para o processo corrosivo.<sup>(6)</sup>



**Figura 5** – Aspecto da seção transversal dos aços EG, GI e GA observada por microscopia eletrônica de varredura, após testes de corrosão com aspersão de solução salina.

Dentre os aços EG, GI e GA, observa-se que o mecanismo de corrosão é dependente da massa de revestimento metálico, pois, ao ser consumida, resta ao processo corrosivo o aço cujo produto de corrosão é mais volumoso e destaca mais a película de tinta, conforme mencionado. Foi isso que aconteceu com o aço

GA 40/40 g/m<sup>2</sup>, que por ter massa de revestimento menor sofreu mais corrosão no substrato metálico e a espessura de seu óxido na região de danificação mecânica (primeira região exposta ao intemperismo) foi próxima à do aço carbono.

### 3.2.1 Resistência à polarização

De acordo com os resultados da Tabela 4 houve uma razoável correlação entre a resistência à polarização e os resultados do teste de corrosão de campo com aspersão de solução salina.

Nos meios eletrolíticos analisados, com exceção do aço EG, que apresentou o melhor comportamento de resistência à corrosão, os demais aços seguiram a classificação anterior: aço GA > GI > aço carbono. O fato dos cristais de zinco que caracterizam o revestimento do aço EG serem finos, uniformes e compactos<sup>(5)</sup>, contribui para esse melhor desempenho. Em relação aos aços GA e GI, as características de seus revestimentos e a solução eletrolítica utilizada podem ter influenciado na classificação de resistência à corrosão.

**Tabela 4** – Resultados de resistência à polarização de aços C-Mn, EG, GI e GA. Solução eletrolítica 3,42 mol.L<sup>-1</sup> NaCl + 0,35 mol.L<sup>-1</sup> ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, pH 4,5

Aço	Potencial de corrosão (mV <sub>ECS</sub> )	Resistência à Polarização – Rp (Ω.cm <sup>2</sup> )
Ultra-baixo carbono	- 671	18,9
EG	- 954	22.937
GI	- 1012	1.284
GA	- 891	6.157

Esses resultados mostram a importância da realização de testes de corrosão atmosférica para a classificação de resistência à corrosão de aços com sistema de pintura completo, principalmente aqueles que reproduzem as condições de exposição ao intemperismo natural dos produtos em serviço, como é o caso do teste de campo com aspersão intermitente de solução salina.

## 4 CONCLUSÃO

Constatou-se que, na condição fosfatizado e pintado, a prática de utilizar aços revestidos com zinco e suas ligas melhora sensivelmente a resistência à corrosão atmosférica dos aços comparativamente ao aço ultra-baixo carbono sem tais revestimentos.

Observou-se, também, que a massa e a morfologia de revestimento metálico influenciam na resistência à corrosão atmosférica de aços revestidos, fosfatizados e pintados. Como o revestimento metálico atua como barreira física e catódica, ao ser consumido pelo processo corrosivo, expõe o substrato metálico cujo volume de óxido é bem maior que o do revestimento metálico, promovendo maior destacamento de película seca de tinta e com isso são criadas novas frentes de corrosão com mais rapidez. Quanto ao tipo de morfologia, a presença de reentrâncias que permitem a resina de tinta permear para seu interior contribui,

juntamente com a camada de fosfato, para a fixação da película seca de tinta após a sua cura. Esse é o caso do revestimento metálico de aços GA.

## REFERÊNCIAS

- 1 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.
- 2 NORMA NBR 10443 – 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.
- 3 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.
- 4 STANDARD ISO 9223 – Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1992.
- 5 ALVARENGA, E. A. – Pesquisa e Desenvolvimento em Corrosão e em Engenharia de Superfície na Usiminas: Infraestrutura e Resultados (*keynote speaker*). In: 64<sup>o</sup> CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. Belo Horizonte, MG, 13 a 17 de julho de 2009.
- 6 ALVARENGA, E. A; CARNEIRO, R. A.; MIRANDA, F. J. F. – Ensaio de Corrosão para a Indústria Automobilística. CONGRESSO 2001 SAE BRASIL. São Paulo, novembro/2001.