

APLICAÇÃO DA TÉCNICA *SPOTFACE* NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS DESTINADOS A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA¹

Alberto Nei Carvalho Costa²

José Carlos dos Santos³

José Eduardo Ribeiro de Carvalho⁴

Neilor da Silva Oliveira⁵

Thiago de Souza Martins⁶

Resumo

Com a crescente competitividade entre os diferentes fabricantes de automóveis torna-se cada vez mais necessário às empresas desenvolverem projetos inovadores de carroceria, objetivando a redução de peso e custo. Outro fator que deve ser considerado é a durabilidade da carroceria que é função da resistência à corrosão dos materiais empregados. Esta última característica tem conduzido as montadoras à realização de trabalhos conjuntos com os seus fornecedores, visando sempre à seleção mais apropriada dos materiais. O resultado desse trabalho leva sempre a necessidade de utilização de diferentes tipos de aço, revestidos com zinco puro ou ligas de zinco. Neste contexto o desafio em geral enfrentado pelas montadoras é o tempo necessário para seleção e aprovação de um material diante das diferentes alternativas possíveis. Este trabalho teve como objetivo a realização de um estudo de resistência à corrosão de vários materiais destinados a fabricação de carrocerias, utilizando uma técnica denominada *Spotface*, que tem como principal vantagem a redução do tempo necessário para uma avaliação comparativa de diferentes materiais, quando testados em ensaios acelerados ou de campo, sendo, portanto capaz de fornecer resultados em menor tempo, quando comparada à técnica tradicionalmente utilizada, *scribe*. Foi utilizado ensaio acelerado de corrosão, realizado conforme procedimentos recomendados pela General Motors do Brasil.

Palavras-chave: Corrosão; *Spotface*; Galvanizado.

APPLICATION OF THE *SPOTFACE* TECHNIQUE FOR THE EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE OF STEEL SHEETS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract

With increasing competition among of cars makers becomes necessary the companies to develop innovative designs of the body, aimed at weight reduction and cost. Another factor to consider is the durability of the autobody which is a function of the corrosion resistance of materials used. This last feature has led automakers to carry out joint work with its suppliers, always seeking the most appropriate selection of materials. The result of this work always leads to the need to use different types of steel, coated with pure zinc or zinc alloys. In this context the challenge faced by the general assembly is the time required for selection and approval of a material in front of different alternatives. This study aimed to conduct a study of corrosion resistance of various materials for the manufacture of bodies, using a technique called *Spotface* which has the advantage of reducing the time required for a comparative assessment of different materials, when evaluated in accelerated or field tests and are therefore able to provide results in less time when compared to the traditional technique used, *scribe*. We used accelerated corrosion testing, conducted according to procedures recommended by General Motors of Brazil.

Key words: Corrosion; *Spotface*; Galvanized.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

² Eng^o Químico, M.Sc., Engenheiro de desenvolvimento Sênior, CSN.

³ Eng^o de Materiais, M.Sc., Coordenador de Engenharia de Materiais da GMB.

⁴ Eng^o Metalúrgico, M.Sc., Gerente de Desenvolvimento de produtos, CSN.

⁵ Técnico Químico, Técnico de desenvolvimento, CSN.

⁶ Técnico Químico, Técnico de Laboratório, CSN.

1 INTRODUÇÃO

A melhoria das propriedades contra a corrosão das chapas de aço carbono zincadas depende do entendimento dos mecanismos de corrosão de produtos revestidos e também do seu controle. Porém essa melhoria só poderá ser quantificada, se for monitorada por métodos confiáveis de avaliação da resistência à corrosão. Na maioria das vezes, deseja-se saber se um novo material apresenta melhor desempenho contra a corrosão do que algum material já conhecido, ou seja, a avaliação da resistência à corrosão é puramente comparativa.

A corrosão das chapas de aço zincadas e pintadas ocorre no substrato e sob o filme do revestimento orgânico (tinta), e se processa em dois estágios denominados incubação e propagação.⁽¹⁾ Durante o estágio de incubação, nenhuma deterioração ocorre na pintura, ficando o efeito da corrosão confinado à região defeituosa, ou seja, em alguma região do substrato exposta por dano à atmosfera corrosiva, onde o zinco se comporta como anodo protegendo o substrato. A transição do estágio de incubação para a propagação, em ambientes atmosféricos, é acompanhada do aparecimento do produto de corrosão do ferro, “ferrugem vermelha”. Durante o estágio de propagação, ocorre corrosão galvânica entre o zinco, que funciona como anodo, e a ferrugem vermelha que funciona como catodo. O produto da corrosão do zinco possui volume específico maior que o metal puro, provocando danos mecânicos à pintura. A resistência à corrosão das chapas de aço carbono zincadas e pintadas está associada à velocidade de propagação da corrosão sob o filme do revestimento orgânico.

Os ensaios de avaliação da resistência à corrosão de produtos revestidos consistem na danificação de uma região da superfície a ser ensaiada, e posterior avaliação da propagação da corrosão sob o filme do revestimento orgânico, em ambientes atmosféricos normais (ensaio de campo) ou em ambientes específicos (ensaio acelerado). A técnica de danificação mais largamente utilizada é a denominada *scribe*, que consiste em riscar a superfície do corpo de prova, expondo parte do substrato e revestimento metálico ao meio corrosivo, para posterior avaliação da velocidade de propagação da corrosão sob o filme de tinta. Nessa técnica, como a região danificada é pequena, o início da corrosão sob o filme de revestimento é retardado por certo período de tempo, correspondente ao estágio de incubação, caracterizado pela proteção catódica do revestimento de zinco. Jordan⁽¹⁾ propôs uma nova técnica de danificação do revestimento denominada *spotface*, que consiste na remoção do revestimento em uma área circular com 13 mm de diâmetro, de modo a inibir a proteção catódica do revestimento de zinco ao metal base em consequência do aumento da relação área catódica/área anódica, reduzindo significativamente o período de tempo do estágio de incubação.

Com o propósito de avaliar a possibilidade da redução de tempo de ensaio para avaliação da resistência à corrosão das chapas zincadas e pintadas, foi realizado este trabalho de resistência à corrosão com vários materiais destinados a fabricação de carrocerias, utilizando a técnica *Spotface*, comparando à técnica tradicionalmente utilizada, *scribe*.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Informações sobre a utilização da técnica *spotface* como alternativa a tradicionalmente utilizada denominada *scribe* já foram publicadas na literatura por diversos autores.

Dentre esses, podemos destacar o trabalho de Jordan,⁽¹⁾ que realizou ensaios em 14 materiais diferentes, todos com o mesmo revestimento orgânico, utilizando no mesmo corpo de prova a técnica de danificação *scribe* e *spotface*. Os corpos de prova (CP) danificados foram, então, expostos ao meio corrosivo em diferentes tempos. A Figura 1 apresenta o desenho esquemático do corpo de prova e da seção transversal da danificação do revestimento pela técnica *spotface* e *scribe*.

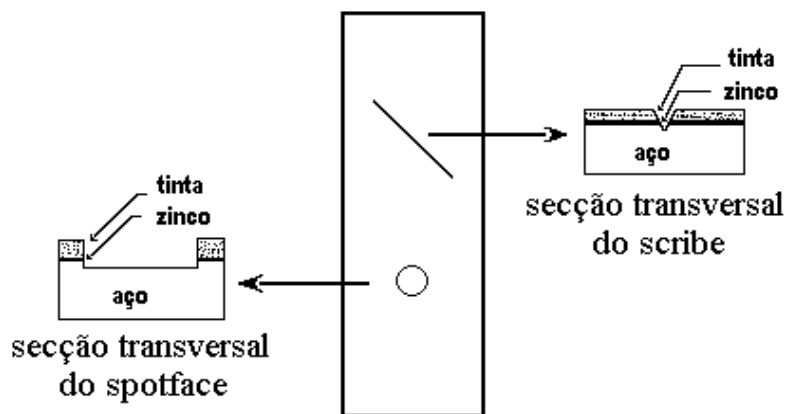


Figura 1. Desenho esquemático da seção transversal dos tipos de danificação do revestimento.⁽¹⁾

Os corpos de prova danificados foram expostos a uma atmosfera industrial e retirados para avaliação da propagação da corrosão de seis em seis meses, até um total de 36 meses. Os corpos de prova (CP) foram posicionados em *racks* de cerâmicas eletricamente isolantes com a face inclinada de 45° em relação à horizontal. Sobre a superfície de cada corpo de prova foram aspergidos 20 ml de uma solução de cloreto de sódio 5% p/v, duas vezes por semana, à temperatura ambiente. Durante o ensaio, foi observada a presença de ferrugem vermelha no centro do *spotface* com apenas um dia de exposição. Essa ferrugem se espalhava por todo círculo do *spotface* em apenas uma semana, enquanto que não foi observada a presença de ferrugem vermelha após duas semanas no risco do método *scribe*. Jordan⁽¹⁾ concluiu que:

Após cada etapa de seis meses o avanço da corrosão foi medido em cada material, observando-se que a técnica *spotface* reduz drasticamente o tempo de incubação, acelerando o aparecimento de ferrugem vermelha e reduzindo, portanto, o tempo total de ensaio.

Cabe salientar que a técnica de danificação da pintura *spotface* só trará benefícios se o revestimento metálico for de sacrifício, pois, não havendo ação de sacrifício, não haverá tempo de incubação, ou seja, a ferrugem vermelha aparecerá em curtos períodos de exposição.

Carneiro⁽²⁾ continuando o trabalho de Jordan,⁽¹⁾ fez um estudo comparativo entre as técnicas *scribe* e *spotface* aplicado a um ensaio acelerado de corrosão utilizado na indústria automobilística denominado *scab corrosion test*. Em seu trabalho, Carneiro⁽²⁾ verificou que, utilizando-se o ensaio acelerado, a técnica *spotface* reduziu o tempo de análise em torno de 2,5 vezes quando comparada com a técnica *scribe*. Carneiro⁽²⁾ sugeriu também a realização do estudo de uma nova metodologia de medida do avanço da corrosão que permitisse uma maior precisão dos resultados, pois o método de medida linear utilizado possuía uma grande margem de erro. Sugeriu, ainda, a utilização de um número maior de corpos de prova para cada

etapa do ensaio acelerado, com o objetivo de reduzir as margens de erros dos resultados.

Em trabalho posterior, Costa⁽³⁾ utilizou três corpos de prova para cada retirada do ensaio por material, e adotou a metodologia da medida do avanço da corrosão através do método da área corroída sob o revestimento de tinta. Comparou os dois métodos de medida e verificou que o método de medida da área corroída apresentava maior precisão, diminuindo bastante o erro causado pela imprecisão do método de medida linear que consistia em medir aleatoriamente alguns pontos da região corroída e efetuando sua média como medida do avanço da corrosão.

No presente trabalho, empregou-se as duas técnicas de danificações *scribe* e *spotface*, utilizando-se o ensaio acelerado de corrosão *scab corrosion test*. Foi realizado também um monitoramento dos parâmetros que pudessem influenciar nos resultados finais da medida do avanço da corrosão, tais como: massa por unidade de área do revestimento metálico e aderência da camada de tinta ao substrato metálico, com o objetivo de validar a metodologia *spotface* como técnica alternativa a técnica *scribe*.

3 MATERIAIS UTILIZADOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Materiais Utilizados

Neste trabalho foram avaliados quatro substratos comercialmente disponíveis. A Tabela 1 apresenta os materiais testados, com as espessuras e tipos das camadas de revestimentos utilizadas.

Tabela 1. Materiais utilizados e os respectivos peso de revestimento metálico

MATERIAIS UTILIZADOS	PESO DE REVESTIMENTO NOMINAL (g/m ²)	
	Face Superior	Face inferior
Revestimento Zn-Fe	50	50
Aço zincado por imersão a quente	50	50
Aço eletrozincado (2 faces)	50	50
Aço eletrozincado (uma face)	40	0

Todos os materiais foram cortados nas dimensões de 300 mm x 1.000 mm e foram pintados nas linhas de pintura da GMB, seguindo todas as etapas de pré-tratamento e pintura do processo normal de produção. A Tabela 2 apresenta os tipos de pré-tratamentos utilizados em cada linha de pintura.

Tabela 2. Linhas de pintura com o respectivo sistema de pré-tratamento

LINHA DE PINTURA	PRÉ-TRATAMENTO
Linha de pintura 1	Fosfato tricatiônico
Linha de pintura 2	Fosfato tricatiônico
Linha de pintura 3	nanocerâmico

Antes da realização dos ensaios, foi efetuada a proteção de bordas dos corpos de prova com tinta epoxi, visando com isto obter maior resistência na região de contato entre as bordas e os fixadores dos ensaios acelerados. Na realização de danos nos corpos de prova foram utilizadas as técnicas *scribe*, que consiste em realizar um dano sob a forma de risco e a técnica *spotface*, que consiste em realizar um dano em formato circular, expondo o aço base ao ambiente corrosivo.

3.2 Ensaios Realizados

3.2.1 Ensaio de aderência do sistema de pintura

O ensaio de aderência sobre os substratos metálicos foi realizado conforme a norma ABNT 985, empregando o método da grade. Os resultados de aderência do sistema de pintura são apresentados para as condições de recém pintados.

A Tabela 3 apresenta o critério para atribuição de notas representativas do desempenho do material, segundo a norma do ensaio de aderência.

Tabela 3. Critério de avaliação da aderência do sistema de pintura ao substrato, segundo a norma NBR 11003⁽⁴⁾

VALORES	DESCRIÇÃO
0	Sem nenhuma região avaliada com destacamento.
1	5% da região avaliada com destacamento.
2	15% da região avaliada com destacamento.
3	35% da região avaliada com destacamento.
4	65% da região avaliada com destacamento.
5	> 65% da região avaliada com destacamento.

3.2.2 Ensaio cíclico de corrosão – *scab corrosion test*

Como ensaio cíclico de corrosão, utilizou-se o ensaio *scab corrosion test*, que consiste em expor os materiais a vários ciclos em meios agressivos diferentes. Cada ciclo tem a duração de uma semana e é subdividido em cinco etapas. O objetivo é avaliar a resistência à corrosão do material pintado, resultando na perda de adesão da tinta devido ao avanço da corrosão sob o revestimento orgânico.

Para a realização deste trabalho, as amostras foram ensaiadas durante 8 ciclos (8 semanas), utilizando-se a câmara de umidade e temperatura controlada.

No presente trabalho, após a retirada dos corpos de prova do ensaio acelerado de corrosão, os mesmos foram lavados em água corrente, para retirar as sujeiras provenientes do ensaio. Em seguida, os revestimentos orgânicos não aderidos devido ao processo corrosivo bem como os produtos de corrosão foram removidos com auxílio de um bico com ar comprimido. O ar comprimido foi passado radialmente ao dano *spotface*. Após este procedimento, limpou-se os com algodão úmido com álcool, e aplicou-se uma fita adesiva sobre os danos. Após 15 minutos, retirou-se as fitas adesivas em movimentos contínuos para a remoção do resto da tinta que, por ventura, ainda estivesse aderida nos corpos de prova. Por fim, mediu-se o avanço médio da corrosão em cada corpo de prova.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de Aderência do Sistema de Pintura

A Figura 2 apresenta as imagens dos materiais analisados após ensaio de aderência conforme a norma NBR 11003.⁽⁴⁾

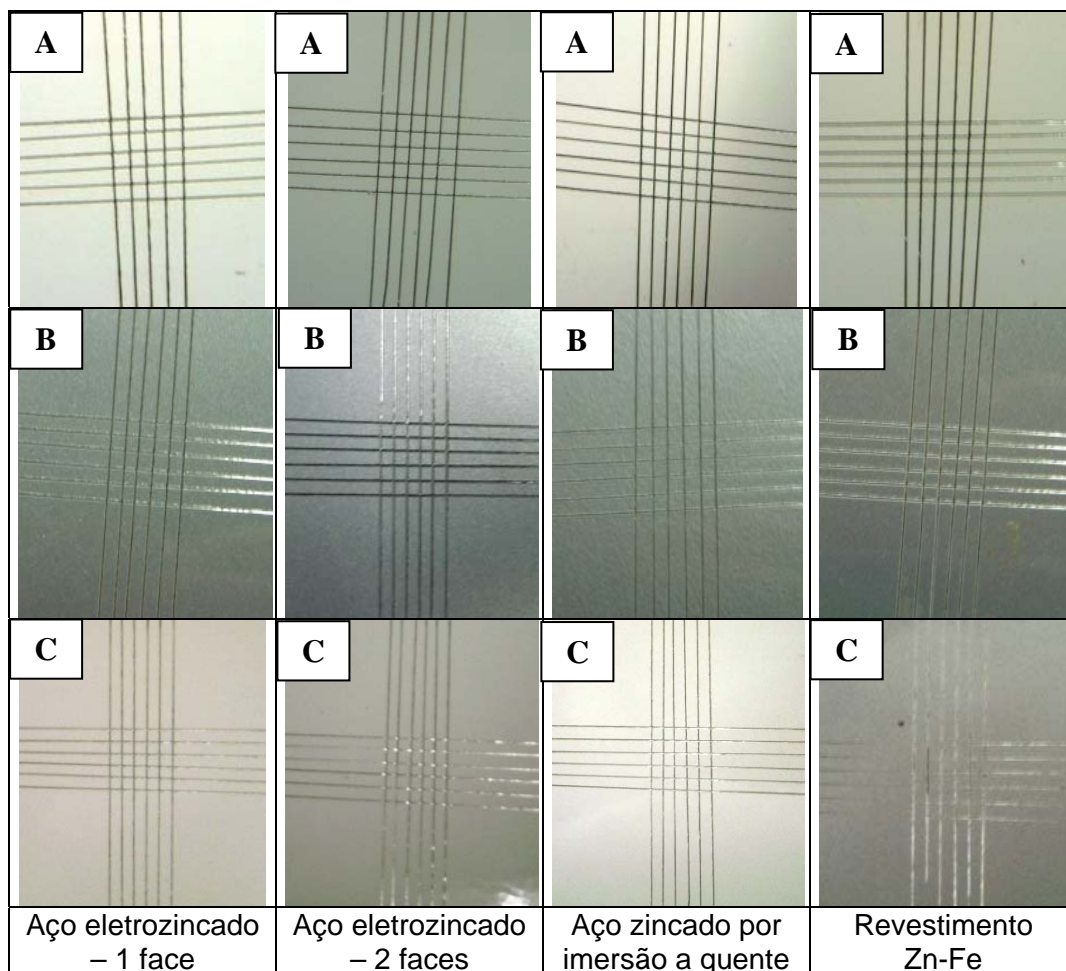


Figura 2. Imagem do ensaio de aderência. (a) linha de pintura 1; (b) Linha de pintura 2; e (c) Linha de pintura 3.

De acordo com as imagens apresentadas na Figura 2, verifica-se que os materiais processados nas três linhas de pintura apresentaram melhor condição de aderência (grau 0).

4.2 Ensaio Cíclico de Corrosão – *Scab Corrosion Test*

Os resultados de avanço da corrosão dos materiais em estudo, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após 2 meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*, serão apresentados de acordo com a linha de pintura ao quais os mesmos foram processados.

As Figuras 3 e 4 apresentam os gráficos de avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura 1, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após 2 meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

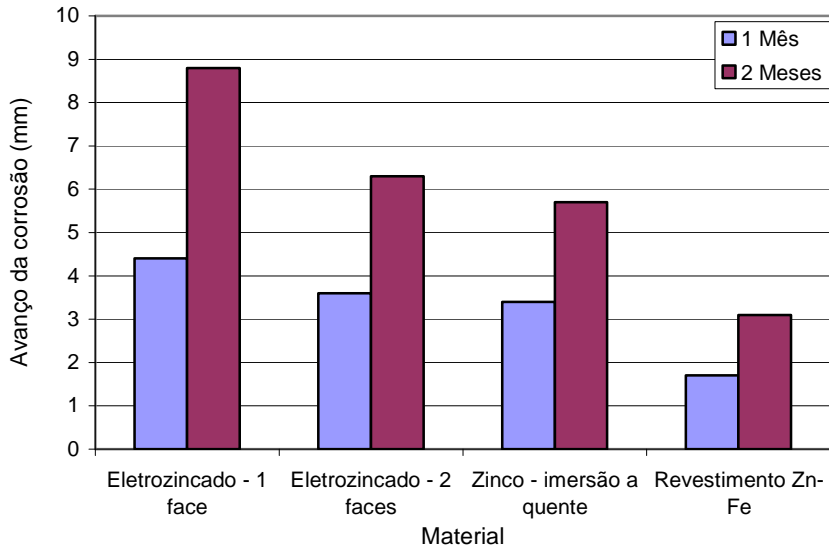


Figura 3. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, com materiais processados na linha de pintura 1.

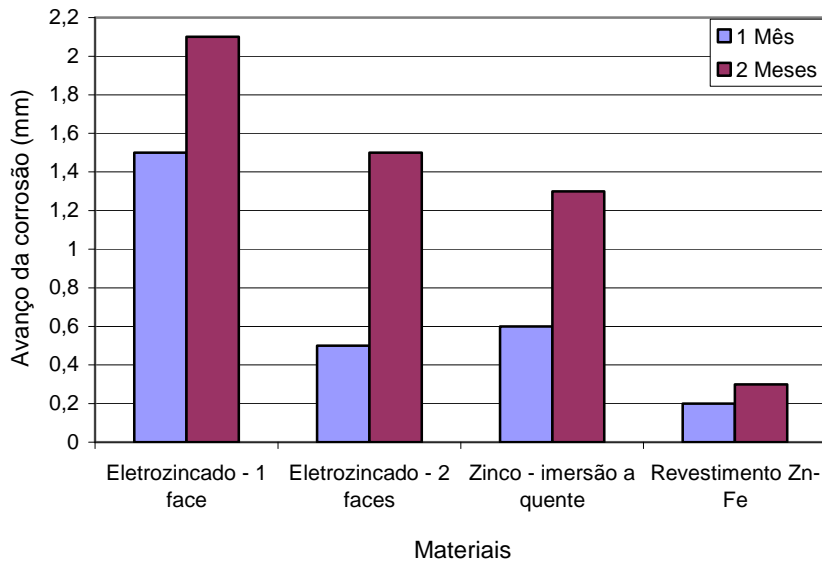


Figura 4. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, com materiais processados na linha de pintura 1.

De acordo com os gráficos apresentados nas Figuras 3 e 4, verifica-se que as técnicas *spotface* e *scribe* apresentaram os mesmos resultados de resistência à corrosão comparativa entre os materiais. Verifica-se também que para a obtenção de um determinado avanço de corrosão, a técnica *spotface* apresenta um menor tempo de ensaio quando comparado com a técnica *scribe*. Com isso, verifica-se que a técnica *spotface* pode ser empregada em substituição à técnica *scribe*, com a vantagem de reduzir significativamente o tempo de duração dos ensaios de corrosão. De acordo com os valores de avanço da corrosão dos materiais em estudo, verifica-se que o material com revestimento Zn-Fe mostrou ser o material com maior resistência à corrosão entre os materiais estudados, visto que o mesmo apresenta menor avanço de corrosão.

As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos de avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura 2, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após 2 meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

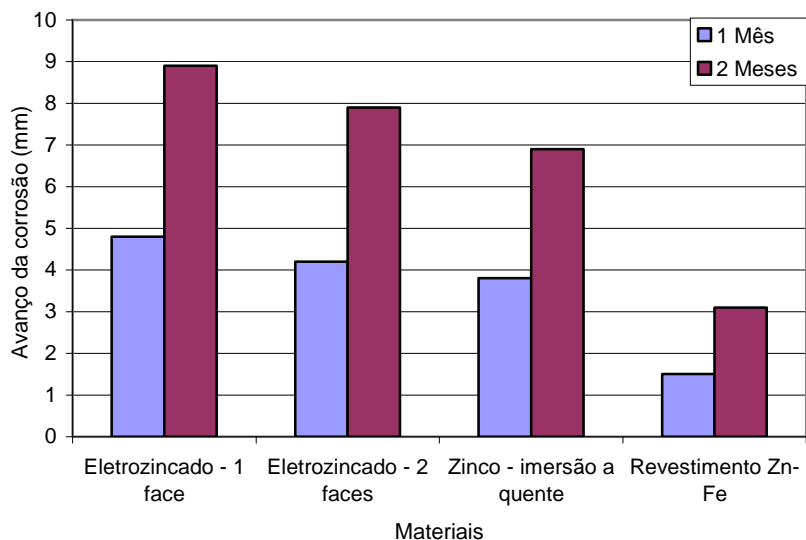


Figura 5. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, com materiais processados na linha de pintura 2.

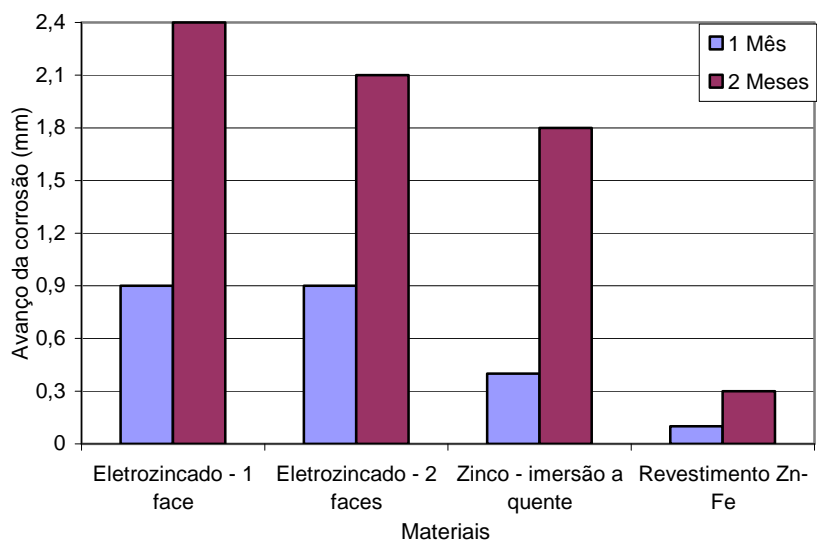


Figura 6. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, com materiais processados na linha de pintura 2.

Baseado nos gráficos apresentados nas Figuras 5 e 6 verifica-se que os resultados obtidos de avanço de corrosão nos materiais processados na linha de pintura 2 são semelhantes aos materiais processados na linha de pintura 1. Pode-se observar também que os materiais processados na linha de pintura 1, de forma geral, apresenta menor avanço da corrosão que os materiais processados na linha de pintura 2.

As Figuras 7 e 8 apresentam os gráficos de avanço da corrosão dos materiais em estudo processados na linha de pintura 3, fazendo uso das técnicas *spotface* e *scribe*, após 2 meses de ensaio cíclico *Scab Corrosion Test*.

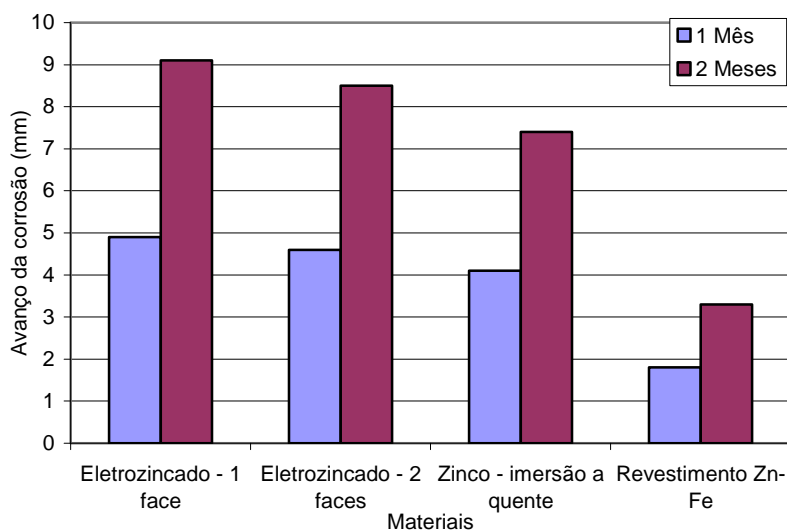


Figura 7. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *spotface*, com materiais processados na linha de pintura 3.

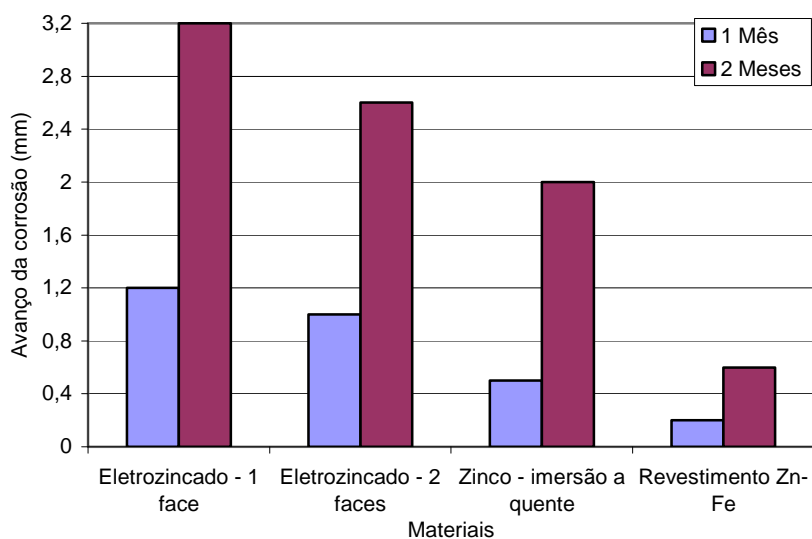


Figura 8. Gráfico do avanço da corrosão após 2 meses de ensaio *Scab Corrosion Test* com uso do dano *scribe*, com materiais processados na linha de pintura 3.

Semelhantemente aos materiais processados na linha de pintura 2, os materiais processados na linha de pintura 3 apresentaram resultados similares aos materiais processados na linha de pintura 1.

A Figura 9 apresenta as imagens dos materiais em estudo após 2 meses de ensaio acelerado de corrosão *Scab Corrosion Test* com uso das técnicas *scribe* e *spotface*.

.Linhas de pintura	Linha de pintura 1		Linha de pintura 2		Linha de pintura 3	
	"Spotface"	"Scribe"	Spotface"	"Scribe"	"Spotface"	"Scribe"
Zinco Eletrozincado 1 face						
Zinco Eletrozincado 2 faces						
Zinco Imersão a quente						
Zn-Fe						

Figura 9. Imagens do avanço da corrosão dos materiais em estudo processados nas 3 linhas de pintura, com o uso da técnica *spotface* e *scribe*, após 2 meses do ensaio *Scab Corrosion Test*.

5 CONCLUSÕES

- Os resultados de avanço da corrosão obtidos pelas técnicas *scribe* e *spotface* apresentaram tendências similares para todos os materiais avaliados.
- a técnica *spotface* foi capaz de fornecer resultados de resistência à corrosão de aços revestidos e pintados em escala de tempo inferior à técnica *scribe*.
- verificou-se que independente da linha de pintura que foi pintado os materiais, de modo geral, o desempenho da resistência à corrosão comparativa entre os materiais avaliados mostraram-se tendências similares.
- verificou-se que independente dos fornecedores e da linha de pintura processada, o material com revestimento liga Zn-Fe apresentou melhor resistência à corrosão que os demais materiais.

REFERÊNCIAS

- 1 Jordan, D. L., Measurement Of Underfilm Corrosion Propagation By Use Spotface Paint Damage, Comunicação Particular.
- 2 Carneiro, J. C. G., "Avaliação da Técnica "Spotface" Empregada para Análise da Corrosão de Aços revestidos", Tese de Mestrado – Escola de Engenharia Industrial de Volta Redonda, UFF, 1998.
- 3 Costa, A ,N.,C., "Análise Comparativa das Técnicas "Spotface" e "Scribe" na Avaliação da Resistência à Corrosão de Aços Revestidos e Pintados" Tese de Mestrado, UFF, 1999.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.NBR 11003:2009: *Tintas – Determinação da Aderência*. Rio de Janeiro: 2009, 9 p.