
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Desempenho anticorrosivo de pintura em aço galvanizado envelhecido: avaliação de laboratório e de campo, após sete anos de exposição atmosférica Cristina Amorim^a, Alberto Ordine^b, Marcos Martins de Sá^c

Abstract

This paper presents the results of a study carried out by Cepel in conjunction with Furnas, in which different coatings were applied to aged galvanized steel substrates. The study focused on the maintenance of galvanized steel structures commonly found in substations and transmission lines, with different degrees of degradation when exposed to aggressive conditions. The panels were obtained from profiles of galvanized steel aged by exposure to a rural atmosphere during 20 years, with the zinc layer presenting white oxidation and some points of corrosion of the alloy layer. Prior to the application of the coatings, they were brushed, sanded and duly cleaned by means of organic solvents. In the evaluation, the test specimens were exposed to two tests: a cyclic corrosion test in the laboratory and an accelerated exposure test for natural weathering at the Cepel atmospheric corrosion site. This study allowed to evaluate the performance of different anticorrosion protection systems, developed by modern technologies, aiming at the maintenance of galvanized steel profiles of transmission line structures and substations, subjected to atmospheric aggressiveness factors.

Keywords: corrosion, coating, maintenance painting, anticorrosive performance.

Resumo

Neste artigo são apresentados os resultados de um estudo realizado pelo Cepel em conjunto com Furnas, no qual foram aplicados diferentes esquemas de pintura em substratos de aço galvanizado envelhecido. O estudo teve como enfoque a manutenção de estruturas de aço galvanizado comumente encontradas nas subestações e em linhas de transmissão, com diferentes graus de degradação, quando expostas às intempéries. As chapas foram obtidas a partir de perfis de aço galvanizado envelhecidos por exposição a uma atmosfera rural, durante 20 anos, com o revestimento de zinco apresentando oxidação branca bastante intensa e alguns pontos de corrosão da camada de liga. Antes da aplicação dos revestimentos, estas chapas foram escovadas, lixadas e devidamente limpas por meio de solventes orgânicos. Na avaliação, os corpos de prova foram expostos a dois ensaios: um ensaio cíclico de corrosão, em laboratório, e um ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural, na estação de corrosão atmosférica do Cepel. Este estudo permitiu avaliar o desempenho de diferentes sistemas de proteção anticorrosiva, desenvolvidos por tecnologias modernas, visando a

^a M. Sc. - Química Industrial- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^b D. Sc. - Engenheiro Químico - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

^c Técnico em Química - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

manutenção de perfis de aço galvanizado de estruturas de linhas de transmissão e subestações, submetidas a fatores de agressividade atmosférica.

Palavras-chave: corrosão, revestimento, pintura de manutenção, desempenho anticorrosivo.

Introdução

Neste artigo são apresentados os resultados de um estudo realizado pelo Cepel em conjunto com Furnas, em que foram aplicados diferentes esquemas de pintura em substratos de aço galvanizado envelhecido, ou seja, já submetidos durante certo tempo às condições de agressividade do meio em que eram utilizados. Desta forma, o enfoque principal do estudo foi a manutenção de estruturas comumente encontradas nas subestações e em linhas de transmissão, aquelas expostas à atmosfera, geralmente constituídas por este material.

As chapas foram obtidas a partir de perfis de aço galvanizado envelhecidos por exposição em uma atmosfera rural, durante, aproximadamente, 20 anos, com o revestimento de zinco apresentando oxidação branca bastante intensa e alguns pontos de corrosão da camada de liga. Antes da aplicação dos revestimentos, estas chapas foram escovadas, lixadas e devidamente limpas por meio de solvente orgânico. Realizaram-se dois ensaios, um ensaio cíclico de corrosão, em laboratório, e um ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural, na estação de corrosão atmosférica do Cepel.

Metodologia

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de perfis de aço galvanizado envelhecido, com o revestimento de zinco apresentando oxidação branca bastante intensa que estiveram expostos numa atmosfera isenta de poluentes e com elevada umidade relativa do ar, por um período de, cerca de, 20 anos. Estes perfis foram cortados em forma de chapas de dimensões aproximadas de 7 cm x 30 cm e com espessura de 7 mm. A espessura da camada de zinco existente variou entre (70 e 100) μm .

As chapas resultantes foram, então, lavadas com água corrente e detergente, escovadas com escova de latão e lixadas. Em seguida, foi realizada uma limpeza final da superfície por meio de solvente orgânico (metiletilcetona), após a qual, o manuseio das chapas foi feito somente utilizando-se luvas de borracha, até o momento da aplicação dos revestimentos. Após este tratamento de superfície, a espessura da camada de zinco manteve-se na faixa de (70 a 100) μm .

Os esquemas de pintura foram aplicados à trincha, seguindo as recomendações dos respectivos fabricantes. A cura das tintas ocorreu ao ambiente, com umidade relativa em torno de 65% e temperatura de 30 °C. Para cada esquema de pintura, o intervalo entre demãos foi de 24h. O tempo de cura dos revestimentos antes do início dos ensaios foi superior a 30 dias. Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os esquemas de pintura, bem como as características técnicas das tintas utilizadas.

Tabela 1 – Esquemas de pintura para proteção de estruturas expostas à atmosfera.

Esquema	Tinta de fundo	Tinta intermediária/de acabamento	Espessura total (μm)
A1	EMA (130 μm)	PU1 (2 demãos, 120 μm)	250
A2	Zn1 (60 μm)	Zn1 (60 μm)	120
A3	Zn1 (60 μm)	PU2 (2 demãos, 120 μm)	180
A4	Zn2 (85 μm)	PU1 (2 demãos, 120 μm)	205
A5	Zn3 (85 μm)	PAS (130 μm)	215
A6	EMAF (130 μm)	PAS (130 μm)	260

Tabela 2 – Características técnicas das tintas utilizadas nos esquemas de pintura estudados.

Tinta	Características
EMA	Tinta de fundo epóxi mástique alumínio
Zn1	Tinta de fundo rica em zinco, monocomponente e de cura por evaporação de solventes, com teor de zinco metálico na película seca de, aproximadamente, 93%
Zn2	Tinta de fundo epóxi-poliamida rica em zinco, com teor mínimo de 88% de zinco metálico na película seca
Zn3	Tinta de fundo rica em zinco à base de poliisocianato, monocomponente, e de cura com umidade do ar, com teor de zinco metálico na película seca de, aproximadamente, 85%
EMAF	Tinta de fundo epóxi mástique alumínio, curada com fenolcamina
PU1	Tinta de acabamento de poliuretano acrílico alifático
PU2	Tinta intermediária e de acabamento de poliuretano, pigmentada com óxido de ferro micáceo e silicatos de alumínio e magnésio, monocomponente, e de cura com umidade do ar
PAS	Tinta de acabamento de dois componentes, com alto teor de sólidos e de “cura rápida”, obtida da reação entre resinas de ésteres poliaspárticos e poliisocianato alifático

Observa-se que dos seis esquemas apresentados, quatro (A2, A3, A4 e A5) continham tintas de fundo ricas em zinco, os quais possuem mecanismo de proteção anticorrosiva baseado nos princípios da proteção catódica. Ou seja, a tinta rica em zinco garante um menor avanço de corrosão a partir de uma falha no revestimento, quando comparada com um esquema com mecanismo de proteção do tipo “barreira”. Dessa forma, os esquemas com tintas de fundo ricas em zinco são muito importantes na proteção de estruturas aéreas situadas em atmosferas de elevada agressividade, sobretudo atmosferas marinha e industrial. Nestes casos, estes esquemas têm desempenho muito superior aos esquemas com mecanismo de proteção do tipo “barreira”, especialmente nas regiões de falhas dos revestimentos.

Ensaio de aderência foram realizados pelo método de resistência à tração (ASTM D 4541 (1)). Além dos valores de tensão de ruptura, também se avaliou a natureza da falha de aderência, que recebe a seguinte denominação, considerando um revestimento com duas camadas (B e C).

- A = falha coesiva do substrato
- A/B = falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento
- B = falha coesiva da primeira camada do revestimento
- B/C = falha adesiva entre as camadas B e C do revestimento
- C = falha coesiva da camada C (segunda camada de revestimento)
- C/Y = falha adesiva entre a camada C e o adesivo
- Y = falha coesiva do adesivo
- Y/Z = falha adesiva entre o adesivo e o carretel.

Foi conduzido em laboratório um ensaio acelerado de corrosão, expondo-se os corpos-de-prova às condições de agressividade descritas abaixo. O tempo total de exposição foi de 4695 h.

- 7 dias de exposição à radiação ultravioleta (UV-B) e condensação de umidade (ciclo de 8 h de UV-B e 4 h de condensação) na câmara da Figura 16(a), conforme norma ASTM G 154 (2).
- 1 dia à baixa temperatura (≈ -10 °C), em *freezer*.
- 6 dias de exposição em câmara de névoa salina contínua [Figura 16(b)], em conformidade com a norma ASTM B 117 (3).

Também foi realizado um ensaio de exposição na estação de corrosão atmosférica do Cepel, a qual está localizada na Cidade Universitária – Ilha do Fundão (RJ) e cuja atmosfera é caracterizada como urbana especial, em função da presença de gás sulfídrico (H_2S) em concentrações elevadas. Para acelerar o processo de corrosão, sobre os corpos-de-prova foi pulverizada uma solução de NaCl 1%, duas vezes por semana. Foram realizadas duas avaliações de desempenho, uma após o tempo de exposição de 1 ano e outra, após 7 anos. Em trabalho anterior, o grau de corrosividade da atmosfera foi classificada como C3 para aço carbono e C2 para zinco. Ao se adotar o procedimentos de pulverização com solução de cloreto de sódio, o grau de corrosividade torna-se CX para aço carbono e C5 para zinco (4).

Resultados e discussão

Entre os quatro esquemas com tintas de fundo ricas em zinco, o esquema A4 é o de referência por ser um dos mais utilizados no Brasil. O esquema A5, apesar de ainda não ser muito utilizado no Brasil, apresenta a tinta de fundo com boas propriedades anticorrosivas e a vantagem de ser um esquema que pode ser aplicado em um mesmo dia de trabalho, pois as tintas possuem curtos intervalos de tempo entre demãos. Os esquemas A2 e A3 são esquemas, cuja tinta de fundo é reversível. O esquema A1 é o tradicionalmente utilizado pelas Empresas Eletrobras nos serviços de manutenção e o A6 é uma alternativa ao A1, elaborado com tintas que também apresentam curtos intervalos de tempo entre demãos. Do ponto de vista prático, esta propriedade é muito importante, pois contribui para reduzir o tempo de aplicação dos esquemas de pintura.

A Tabela 3 apresenta os resultados de aderência por resistência à tração, obtidos na condição inicial, ou seja, antes dos corpos-de-prova serem submetidos aos ensaios de desempenho.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de aderência, referentes à condição inicial.

Esquema	Aderência por tração (ASTM D 4541 (1))	
	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A1	20,1	C
A2	13,9	A/B
A3	8,4	C
A4	21,6	B
A5	24,0	C/Y
A6	19,5	A/B

Ao final do ensaio cíclico de corrosão, os corpos-de-prova foram avaliados quanto à corrosão, empoamento, fendimento, avanço de corrosão e degradação a partir da incisão (6), além de aderência por resistência à tração. Em nenhum caso se observou empoamento, visto que todas as tintas de acabamento utilizadas apresentavam boa resistência aos efeitos de degradação da radiação UV. Os resultados foram bem reprodutivos entre as réplicas de cada esquema e, portanto, as imagens dos corpos-de-prova a seguir são representativas do comportamento de cada esquema neste ensaio. A Figura 1 mostra o aspecto final dos corpos de prova ensaiados.

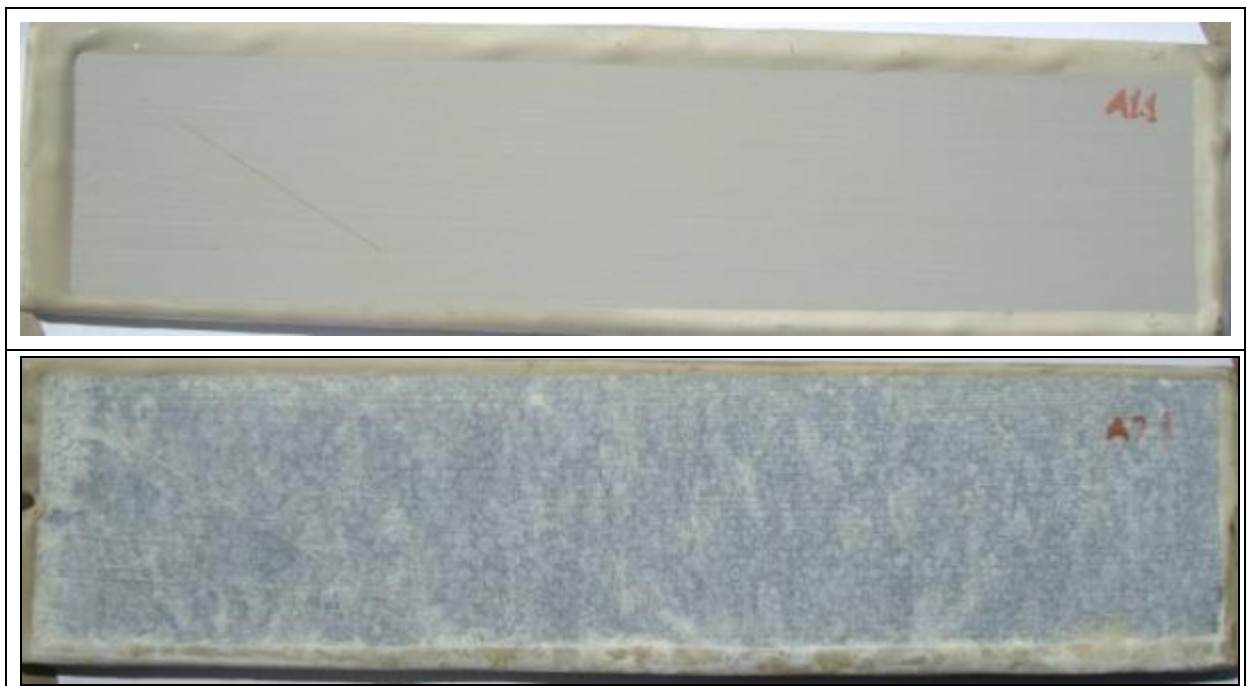


Figura 1 - Aspecto dos corpos de prova revestidos, após 4695 horas de ensaio cíclico de corrosão, apresentando-se em detalhe a região da incisão.

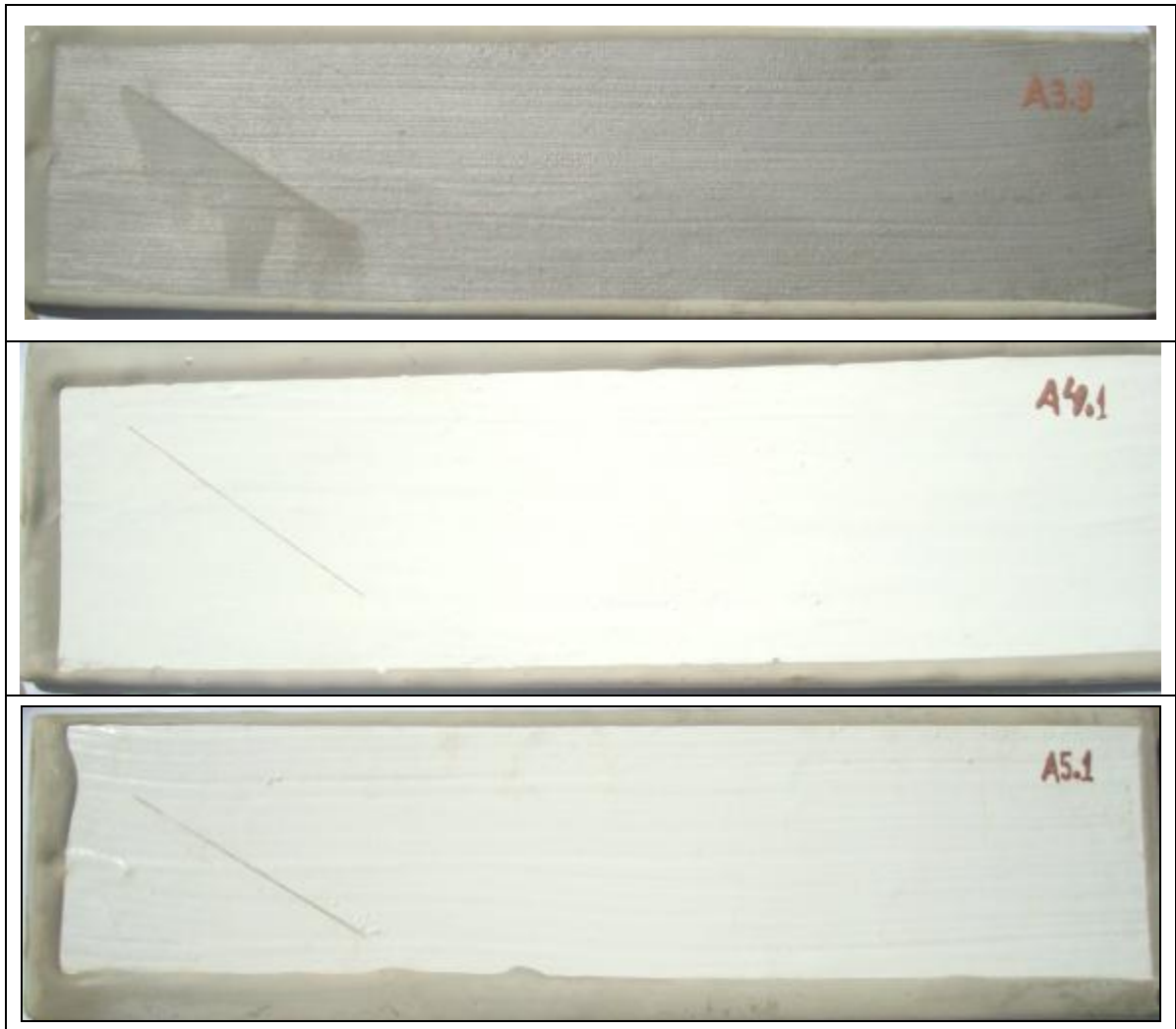


Figura 1 (continuação) - Aspecto dos corpos de prova revestidos, após 4695 horas de ensaio cíclico de corrosão, apresentando-se em detalhe a região da incisão.

O esquema A1 apresentou ótimo desempenho, não sendo observadas quaisquer alterações nos corpos-de-prova em regiões fora da incisão, no que diz respeito à corrosão, empolamento e fendimento. Nas regiões de incisão, não se observou avanço de corrosão nem degradação a partir da incisão.

O esquema A2 apresentou intensa corrosão “branca” do zinco em toda superfície dos corpos-de-prova ensaiados e também na incisão, como pode ser observado na Figura 2. Não foi observado empolamento, nem fendimento e também não houve avanço de corrosão a partir da incisão.

Nos esquemas A3 e A4, não foram observadas quaisquer alterações nos corpos-de-prova em regiões fora da incisão, no que diz respeito à corrosão, empolamento e fendimento. Nas regiões de incisão, não se observou avanço de corrosão nem degradação a partir das mesmas. No esquema A3, verifica-se um sombreamento a partir da incisão, provavelmente resultante da corrosão do zinco da tinta de fundo, exposto na incisão.

No caso do esquema A5, ao final do ensaio, não se observou alterações quanto à corrosão e a fendimento. Observa-se que houve a formação de empolamento em regiões adjacentes à incisão e afastadas da mesma.

Com 1586 horas de ensaio, o esquema A6 apresentou início de uma delaminação, a partir da incisão, o que gradualmente aumentou durante o ensaio, até o seu final, cujo aspecto é mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Aspecto do esquema A6, após 4695 horas do ensaio cíclico de corrosão, mostrando uma intensa delaminação a partir da incisão.

Com exceção do esquema A6, todos os demais não apresentaram avanço de corrosão ou degradação a partir da incisão, ao final do ensaio. O esquema A6 apresentou os seguintes valores médios de avanço de corrosão (equivalente a um lado) devido à sua degradação, a partir da incisão:

- a) antes da retirada do revestimento = 8,0 mm
- b) após a retirada do revestimento = 9,2 mm

Os corpos-de-prova também foram avaliados com respeito à aderência por resistência à tração, sendo obtidos os resultados da Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de aderência, após o final do ensaio cíclico de corrosão.

Esquema	Aderência por tração (ASTM D 4541 (1))	
	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A1	23,4	30% A/B; 70% C
A2	11,3	40% A/B; 60% B
A3	8,1	C
A4	16,2	B
A5	29,5	C
A6	16,9	A/B

A Tabela 4 mostra que, em termos de valores de tensão de ruptura, os resultados foram próximos daqueles observados inicialmente (Tabela 3). Quanto à natureza da falha, observam-se algumas alterações. Alguns esquemas apresentaram natureza de falha A/B, o que não é desejado, e mostra uma perda de aderência entre o substrato e a tinta de fundo.

No esquema A1, seu resultado pode estar relacionado à agressividade do ensaio, pois, inicialmente, não se verificou este tipo de falha. O esquema A2 repetiu, em parte, a natureza da falha A/B, indicando que sua aderência ao substrato não foi muito boa, antes mesmo do início do ensaio (Tabela 3). O esquema A3 tem baixa coesão da tinta de acabamento (falha C), o que já foi verificado inicialmente. Os esquemas A4 e A5 apresentaram bons resultados e sobre o esquema A6, valem alguns comentários, em particular, que serão discutidos a seguir, referente ao ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

Após um ano de exposição, os corpos-de-prova foram avaliados quanto à corrosão, empolamento, fendimento, empoamento, avanço de corrosão e degradação a partir da incisão e aderência por resistência à tração. Os resultados foram bem reprodutivos entre as réplicas de cada esquema e, portanto, as imagens dos corpos-de-prova na Figura 3 são representativas do comportamento de cada esquema neste ensaio. Tais Figuras apresentam o aspecto dos corpos-de-prova após um ano de exposição.

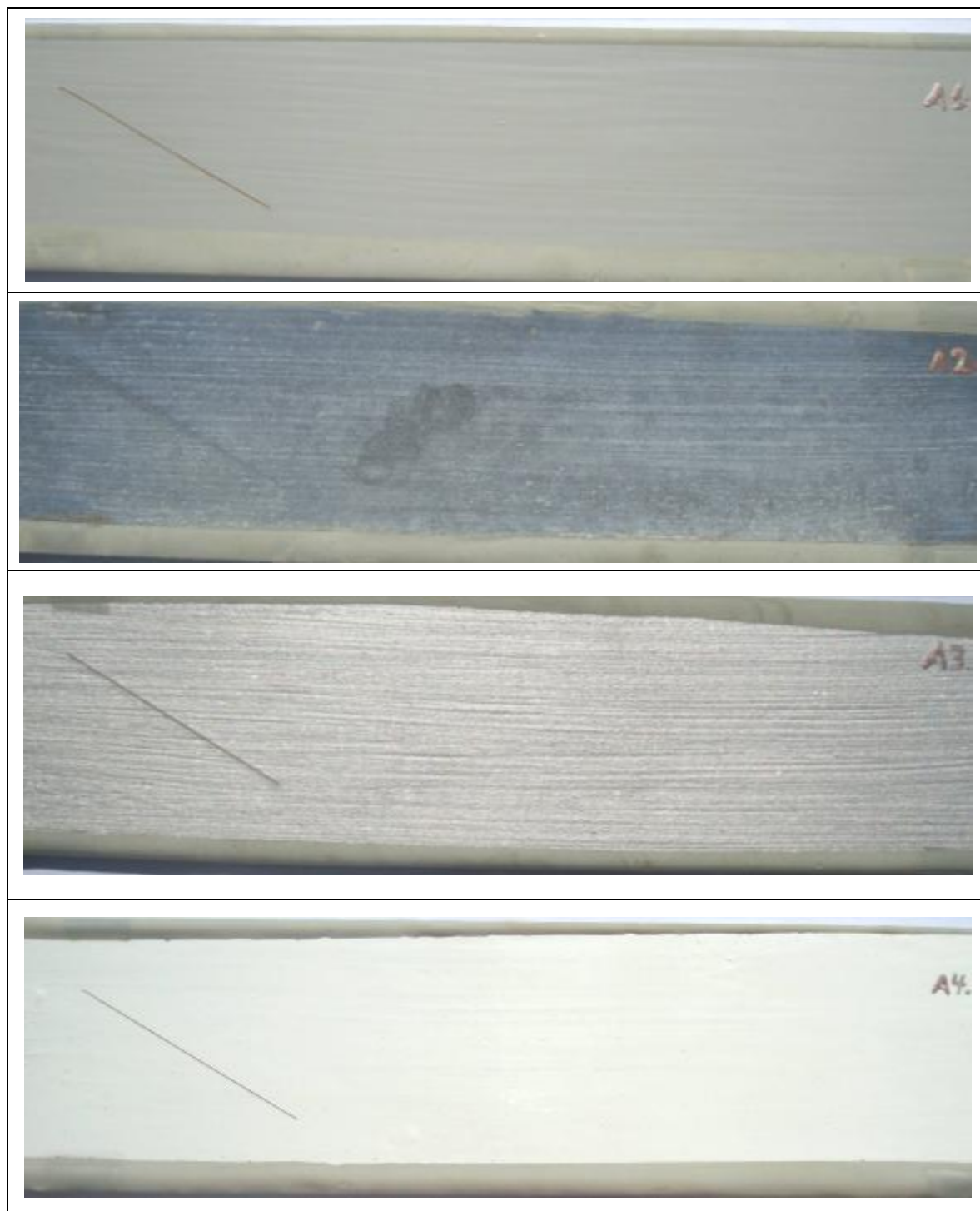


Figura 3 - Aspecto dos corpos-de-prova com os esquemas A1, A2, A3 e A4, após um ano no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

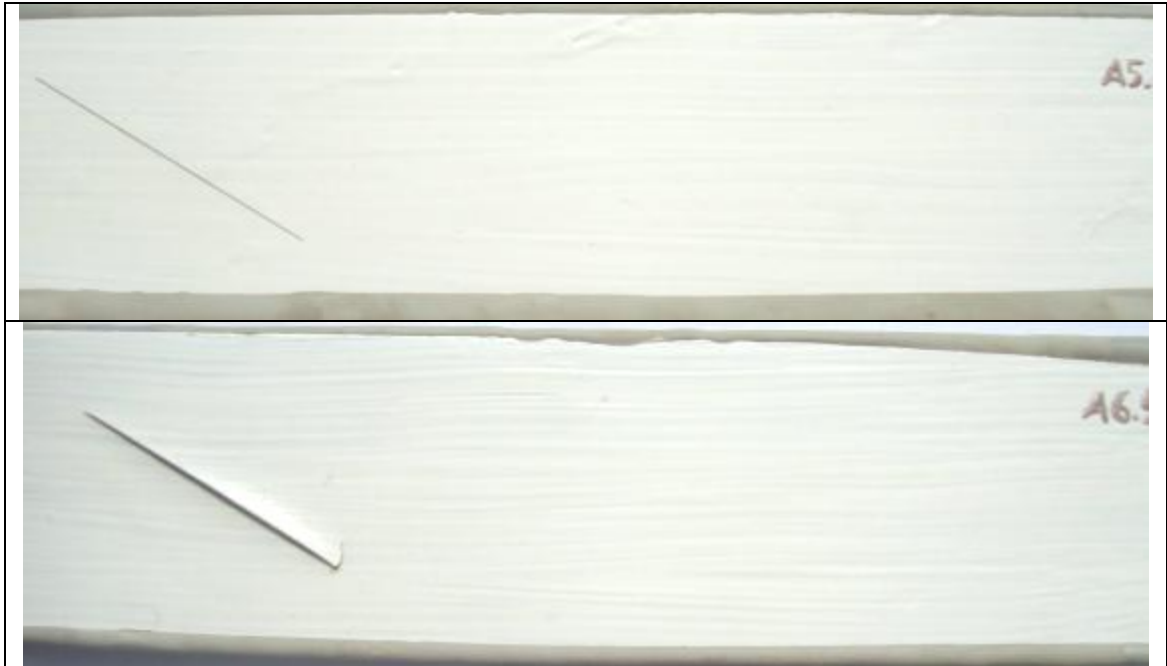


Figura 3 (continuação) - Aspecto dos corpos-de-prova com os esquemas A5 e A6 após um ano no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

Verificou-se que fora da região da incisão, todos os corpos-de-prova não apresentaram quaisquer alterações, em termos de corrosão, fendimento e empolamento. Em nenhum caso também se observou empoamento, visto que todas as tintas de acabamento utilizadas apresentam boa resistência aos efeitos de degradação pela radiação solar. Com o esquema A1, observou-se corrosão vermelha na incisão, que ficou bem caracterizada, visto que este esquema atua na proteção anticorrosiva do substrato como uma barreira. Nos demais esquemas não se observou corrosão vermelha na incisão. O esquema A2 apresentou corrosão “branca” na superfície, devido à corrosão do zinco. Com exceção do esquema A6, em nenhum caso se observou avanço de corrosão e/ou degradação a partir da incisão.

No esquema A6, verificou-se uma delaminação a partir da incisão, tal como havia sido observado ao final do ensaio cíclico de corrosão. Portanto, o mesmo comportamento se repetiu nos dois ensaios. No presente ensaio, o valor médio de avanço de corrosão, equivalente a um lado, após a retirada do revestimento, foi de 6,0 mm. Em um dos corpos-de-prova avaliados, ao se retirar o revestimento com o auxílio de um estilete, a partir da incisão, verificou-se uma fácil delaminação de toda área revestida, como mostra a Figura 4. Isto evidencia uma aderência deficiente entre o substrato e a tinta de fundo e justifica a delaminação observada, durante o ensaio, a partir da incisão.



Figura 4 - Delaminação a partir da incisão em um dos corpos-de-prova com o esquema A6, evidenciando perda de aderência entre o substrato e o esquema.

Também foi realizado, nos corpos-de-prova avaliados, o ensaio de aderência pelo método de resistência à tração e os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de aderência, após um ano de ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

Esquema	Aderência por tração (ASTM D 4541 (1))	
	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A1	20,1	C
A2	12,8	A/B
A3	8,7	C
A4	22,5	B
A5	29,3	C
A6	25,3	A/B

A Tabela 5 mostra que, não só em termos de valores de tensão de ruptura, como também, quanto à natureza da falha, os resultados foram próximos daqueles observados inicialmente (Tabela 3). Isto significa que ao longo deste ensaio, a aderência pouco foi afetada. Os esquemas A2 e A6 apresentaram natureza de falha A/B, o que não é desejado, e mostra uma perda de aderência entre o substrato e a tinta de fundo. O esquema A1 manteve uma boa aderência, o esquema A3 reproduziu a fraca coesão da tinta de acabamento e o esquema A4 apresentou boa aderência e um resultado coerente com a tinta de fundo empregada (epóxi pigmentada com zinco). O esquema A5 também apresentou um bom resultado.

Sobre o esquema A6, foi confirmado o comportamento observado sobre o tipo de falha A/B inicial (Tabela 3), após o ensaio cíclico de corrosão (Tabela 4), após este ensaio (Tabela 5) e ainda a grande perda de aderência documentada na Figura 4. Diante destes fatos, outro corpo-de-prova que não havia sido ensaiado foi investigado, para se tirar qualquer dúvida sobre a aderência deste esquema. A Figura 5 mostra a total delaminação ao se realizar um ensaio de aderência de corte em grade, segundo a norma ISO 2409 (5). De fato, comprovou-se que, mesmo antes de serem ensaiados, os revestimentos dos corpos-de-prova com o esquema A6 não apresentavam boa aderência ao substrato, justificando seu desempenho fraco nos ensaios.

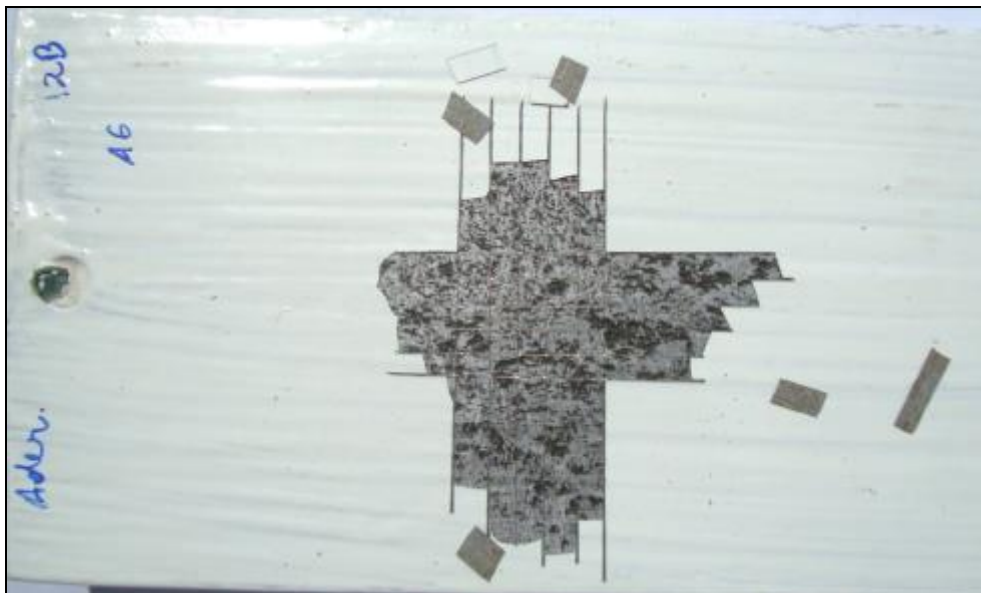


Figura 5 - Delaminação do esquema A6 ao se realizar um ensaio de aderência de corte em grade, segundo a norma ISO 2409 (5).

Após a conclusão do projeto, os corpos de prova remanescentes não foram retirados da Estação de Corrosão Atmosférica, e assim permaneceram por 7 anos. Ao final deste período, os revestimentos foram avaliados com o objetivo de obter resultados de grande importância para o entendimento do desempenho anticorrosivo de tais esquemas de pintura.

Os resultados foram coerentes com aqueles de 1 ano de exposição, após a avaliação visual dos revestimentos com base na norma ISO 4628 (6). As Figuras 6 a 8 mostram o aspecto final dos referidos corpos de prova.

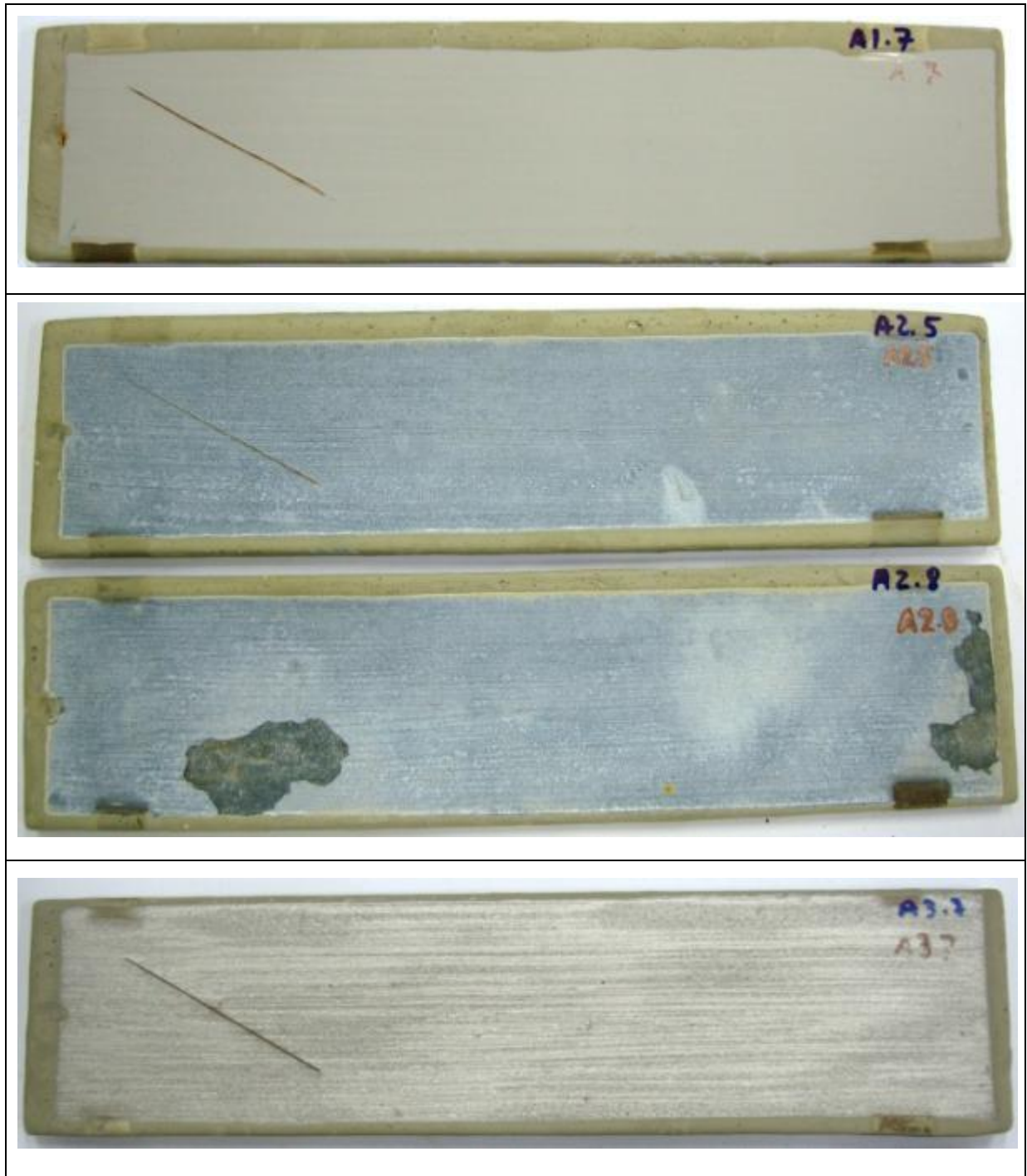


Figura 6 - Aspecto dos corpos-de-prova com os esquemas A1, A2 e A3 após 7 anos no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

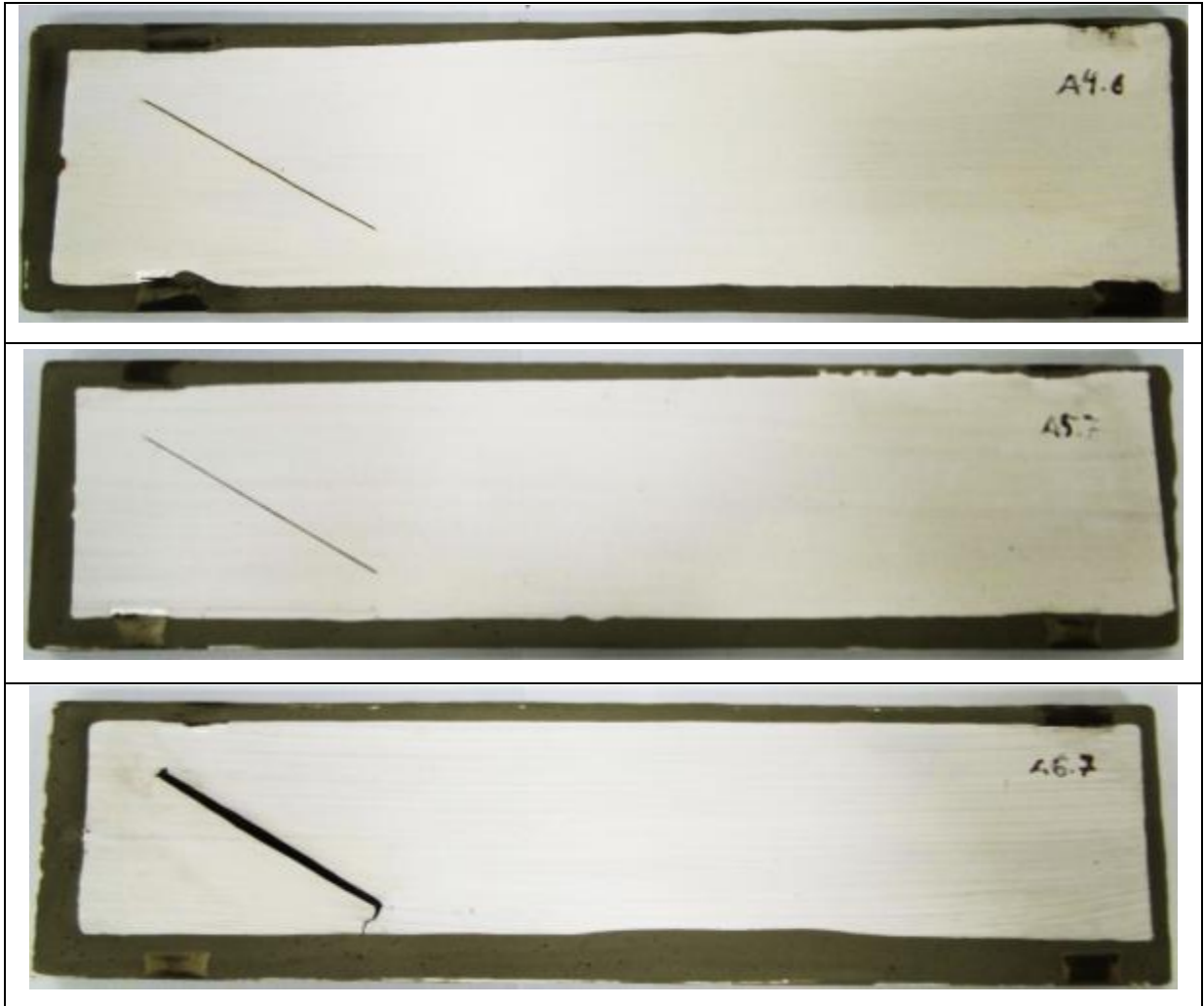


Figura 7 - Aspecto dos corpos-de-prova com os esquemas A4, A5 e A6 após 7 anos no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

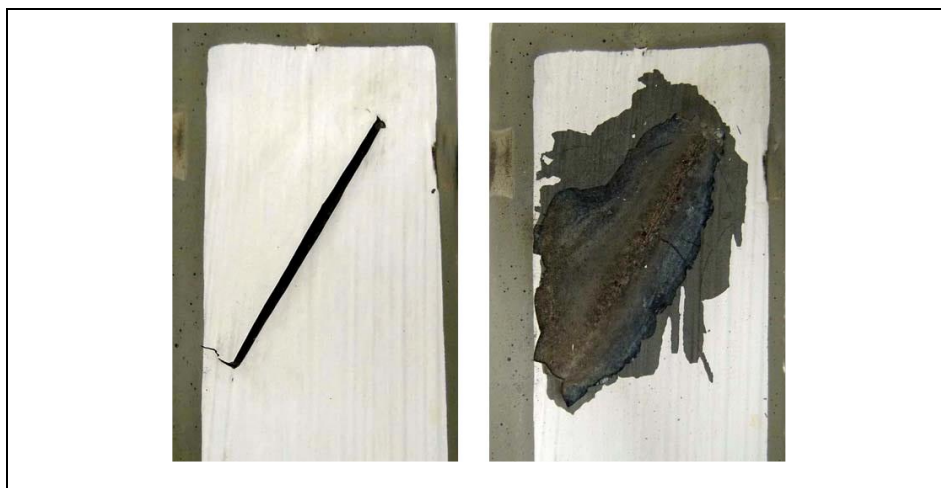


Figura 8 - Delaminação a partir da incisão em um dos corpos-de-prova com o esquema A6, evidenciando perda de aderência entre o substrato e o esquema, após 7 anos no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

Verificou-se na região fora da incisão que os esquemas de pintura não apresentaram alterações, à exceção dos esquemas A2 e A6.

O esquema A2 apresentou uma redução considerável na aderência, que pode ser atribuída à fraca resistência da resina constituinte da tinta à exposição à radiação UVB. Já o esquema A6, que já havia apresentado baixa aderência e delaminação na região da incisão, confirmou a incompatibilidade entre as tintas que foram utilizadas neste esquema. Além disso, o ensaio de aderência final corroborou esta incompatibilidade, uma vez que, ao se destacar os carretéis observou-se a presença de falhas adesivas B/C, ou seja, entre demãos. A inspeção mostrou a presença de manchas características de um fenômeno chamado “exudação” que causa perda considerável de aderência por formar uma camada oleosa entre as demãos, e que pode ser destacada na Figura 9.

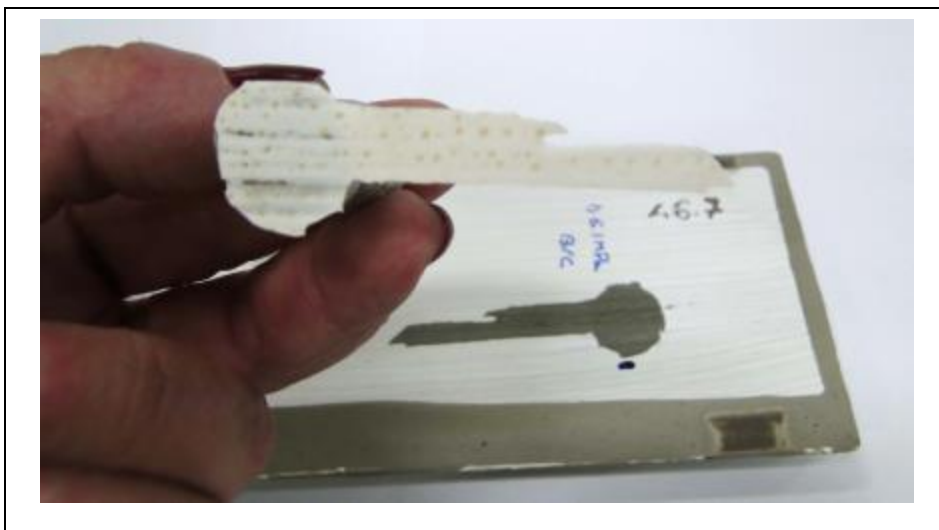


Figura 9 – Detalhe das manchas oriundas do processo de exudação, que causou falha adesiva entre as demãos do esquema A6.

A Tabela 6 mostra os resultados do ensaio de aderência após 7 anos de exposição dos corpos de prova, no ensaio acelerado de intemperismo natural acelerado.

Tabela 6 – Resultados de aderência, após 7 anos no ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural.

Esquema	Aderência por tração (ASTM D 4541 (1))	
	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A1	21,4	Y
A2	9,6	75% B, 25% A/B
A3	7,8	50% C, 50% A/B
A4	21,8	B
A5	27,8	C/Y
A6	8,1	B/C

Os resultados do ensaio de aderência da Tabela 6 são coerentes com aqueles após 1 ano de ensaio. No caso do esquema A3, houve uma degradação maior da película, levando ao aparecimento de falha A/B.

Conclusões

Este estudo permitiu avaliar o desempenho de diferentes sistemas de proteção anticorrosiva, desenvolvidos por tecnologias modernas, visando a manutenção de perfis de aço galvanizado de estruturas de linhas de transmissão e subestações, submetidas a fatores de agressividade atmosférica.

O estudo foi elaborado de forma a se ter sempre um sistema de proteção de referência, que já é comumente utilizado na manutenção das estruturas e sistemas alternativos, com características técnicas mais aprimoradas e produtos mais ecológicos. Os ensaios utilizados apresentaram fatores de agressividade variados e se pode, dessa forma, ter uma boa avaliação comparativa, entre os diferentes sistemas.

Em resumo, a Tabela 7 apresenta uma comparação qualitativa entre os resultados observados com os esquemas de pintura avaliados. O critério adotado para se classificar como “bom resultado” (✓) nos ensaios de aderência foi não ter sido observada natureza de falha A/B e ter sido registrada tensão de ruptura maior que 10 MPa. No caso dos ensaios de desempenho anticorrosivo, o “bom resultado” (✓) refere-se à ausência de corrosão vermelha, ou de corrosão sob o revestimento, de empolamento, fendimento, e nem delaminação a partir da incisão.

Tabela 7 – Resumo dos resultados obtidos com os esquemas de pintura destinados à manutenção de estruturas de aço galvanizado envelhecido expostas à atmosfera.

Esquema	De cura rápida	Desempenho nos ensaios						
		Condição inicial	Aderência		Ensaio cíclico	Ensaio natural acelerado	Ensaio natural acelerado 1 ano	Ensaio natural acelerado 7 anos
			Após ensaio cíclico	Após ensaio natural acelerado				
				1 ano 7 anos				
A1	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓
A2	×	×	×	×	×	✓	✓	×
A3	×	×	×	×	×	×	✓	✓
A4	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A5	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓
A6	✓	×	×	×	×	×	×	×

- O esquema de referência A1 e o esquema contendo a tinta de fundo rica em zinco A4 apresentaram bons desempenhos em todos os ensaios. Deve-se considerar que o ensaio cíclico foi bastante agressivo, porém, mesmo assim, o esquema A4 teve um bom desempenho, podendo se garantir que este esquema é uma excelente alternativa ao esquema A1, sobretudo para ser utilizado em ambientes de elevada agressividade, como em atmosfera marinha.

- Os resultados do ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural podem ser utilizados como um indicativo seguro de desempenho anticorrosivo dos diferentes esquemas em atmosferas de média a alta agressividade. Neste caso, além do bom desempenho dos esquemas A1 e A4, o esquema A5 também é uma boa alternativa de emprego, com a vantagem de apresentar curtos intervalos de tempo entre as demãos, permitindo maior rapidez na etapa de aplicação das tintas, durante a manutenção dos perfis.
- O esquema A2 apresentou desempenho satisfatório no primeiro ano do ensaio acelerado de exposição ao intemperismo natural. Entretanto, devido ao fato de ter falhado em termos de aderência ao substrato, valem algumas ressalvas sobre tal esquema. Em situações desabrigadas, onde a incidência da radiação é direta na estrutura pintada com este esquema, o tempo de vida útil deste será reduzido em comparação aos outros que foram estudados neste trabalho. Além disso, o mesmo tende a apresentar corrosão mais acentuada em áreas de estagnação de água e já foi observado em estudos anteriores, realizados pelo Cepel, que quando aplicado em aço carbono, rapidamente verifica-se a corrosão do substrato nas áreas de estagnação de água. Neste trabalho, deve-se considerar que seu desempenho satisfatório está relacionado ao fato de ser aplicado em aço galvanizado. Para estruturas enterradas, não se recomenda este tipo de esquema (7). Em tempos maiores de exposição atmosférica, o esquema apresentou delaminação, o que compromete seu desempenho anticorrosivo.
- O esquema A3 apresentou um bom desempenho no ensaio de exposição natural, após 1 ano. Porém, após 7 anos, sua película apresentou maior degradação, resultando no aparecimento de falha de aderência entre o substrato e o revestimento, no ensaio de aderência por tração.
- Quanto ao esquema A6, inicialmente pensou-se na grande vantagem em utilizar tintas que possuíam curtos intervalos de tempo de repintura, permitindo uma maior rapidez na etapa de aplicação das tintas durante a manutenção das estruturas. Esperava-se que este esquema tivesse um bom desempenho nos ensaios, pois o mesmo já havia sido estudado anteriormente no Cepel e não se verificou o problema de aderência observado no presente estudo, quando o esquema era aplicado em aço galvanizado. Com base nos resultados de longo prazo obtidos, após os 7 anos de exposição, chega-se à conclusão que este esquema volte a ser investigado em futuros trabalhos de pesquisa do Cepel, antes de se recomendá-lo para utilização em trabalhos de manutenção de perfis de aço galvanizado.

Referências bibliográficas

- (1) ASTM D 4541, *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*, 2002.
- (2) ASTM G 154, *Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials*, 2006.
- (3) ASTM B 117, *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*, 1994.
- (4) REIS C. B., BENDINELLI E. V., ORDINE A. P., AMORIM C. C., CAFÉ Y. H. P. **Análise crítica do ensaio de perda de massa para classificação do grau de agressividade atmosférica.** In: Intercorr 2016, 2016, Búzios.

- (5) ISO 2409, *Paints and Varnishes – Cross-Cut Test*, 2007.
- (6) ISO 4628, *Paints and Varnishes – Evaluation of Degradation of Paint Coatings – Designation of Intensity, Quantity, Size of Common Types of*, 1982.
- (7) AMORIM, C. C., ORDINE, A. P., M. M. SÁ; OLIVEIRA, W. P. **Avaliação de desempenho, produtividade e custos de tecnologias de proteção anticorrosiva para estruturas enterradas de linhas de transmissão** In: XXVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2017, Curitiba.