



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GMI/24

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

PADRÕES DE QUALIDADE PARA SERVIÇOS DE PINTURA ANTICORROSIVA APLICADOS AO SETOR ELÉTRICO

**Alberto Pires Ordine(*), Cristina da Costa Amorim, Marcos Martins de Sá, Elber Vidigal Bendinelli
ELETROBRAS CEPEL**

RESUMO

A garantia de qualidade dos serviços de pintura anticorrosiva no setor elétrico, tanto para obras novas quanto para manutenção de equipamentos e estruturas metálicas depende de boas práticas de proteção anticorrosiva. Desde março de 2016 estão vigentes as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, que estabelecem requisitos técnicos de procedimentos e tintas para realização de tais serviços. Neste artigo, apresenta-se uma pesquisa experimental de dois anos, destacando a importância das boas práticas da proteção anticorrosiva, e que é motivadora para a utilização das Normas citadas, como meio de garantir que padrões de qualidade sejam atendidos nos serviços de pintura.

PALAVRAS-CHAVE

Corrosão, Pintura, Custo, Qualidade, Norma.

1.0 - INTRODUÇÃO

Muitos parâmetros podem afetar o desempenho de uma pintura anticorrosiva, tais como a especificação do esquema de pintura, o método de preparação de superfície, as condições climáticas durante a pintura, a mistura das tintas, as operações realizadas nas suas aplicações, entre outros (1). Uma vez aplicado, o esquema de pintura deve atender certos padrões de qualidade (2) para que apresente o desempenho anticorrosivo desejado, protegendo adequadamente as estruturas metálicas da agressividade do meio em que se encontram. Porém, nem sempre as boas práticas de proteção anticorrosiva são aplicadas nos serviços de pintura industrial, seja por desconhecimento técnico, negligência ou razões relacionadas à redução de custos. Neste último caso, as decisões podem ser tomadas apenas com base numa avaliação imediata, em que aquele procedimento de menor custo é selecionado como a melhor opção. O que não se avalia é por quanto tempo a escolha manterá a vida útil da estrutura protegida em relação a outras opções de diferentes custos. E como selecionar o procedimento de proteção anticorrosiva mais apropriado tecnicamente às condições reais de trabalho das estruturas, de modo a garantir um bom desempenho anticorrosivo das mesmas? Esta questão foi motivadora para a elaboração das Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva. Um projeto realizado por meio de um esforço conjunto das empresas Eletrobras, no âmbito do SCMT – Subcomitê de Manutenção das Empresas Eletrobras e da CPT – Comissão de Política Tecnológica da Eletrobras. Tais Normas padronizam procedimentos e produtos a serem utilizados em serviços de pintura anticorrosiva, específicos para equipamentos e estruturas metálicas do setor elétrico, tanto para obras novas como para serviços de manutenção. A fim de destacar a importância da seleção de procedimentos técnicos adequados na proteção de estruturas metálicas, foi realizado um ensaio de exposição atmosférica por dois anos, em ambiente urbano com contaminação de solução salina, avaliando-se o desempenho anticorrosivo de um esquema de pintura preparado por diferentes procedimentos, com diferentes custos associados, suprimindo-se etapas durante sua preparação ou usando especificações fora dos padrões de qualidade. Estimou-se custos e avaliou-se o desempenho anticorrosivo, sendo possível comparar a relação entre o custo dos diferentes procedimentos e o benefício obtido na proteção anticorrosiva. Com base neste estudo experimental, evidenciou-se

(*). Av. Horácio Macedo, n° 354 – Cidade Universitária – CEP 21.941-911 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6292 – Fax: (+55 21) 2280-3537 – e-mail: ordine@cepel.br

a importância da utilização de padrões de qualidade nos serviços de pintura anticorrosiva aplicados ao setor elétrico. No artigo, também são apresentadas as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, como estão organizadas e como podem ser acessadas. Discutem-se os requisitos técnicos das Normas e como estas podem trazer benefícios na proteção anticorrosiva de equipamentos e estruturas metálicas para o setor elétrico brasileiro.

2.0 - METODOLOGIA

Foi realizado um ensaio de exposição atmosférica, em que corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas de aço carbono nas dimensões de 100 mm x 150 mm e espessura de 6,4 mm. Inicialmente, as chapas apresentavam grau A de intemperismo (carepa de laminação intacta), e a preparação de superfície foi realizada por meio de jateamento abrasivo seco, utilizando-se granalha de aço angular como abrasivo. O grau de limpeza obtido foi Sa 3 (ao metal branco), conforme a norma ISO 8501-1 (3). O perfil de rugosidade médio foi igual a 30 μm , medido com um rugosímetro digital do tipo agulha, conforme o método B da norma ASTM D4417 (4). Após a preparação de superfície, aplicou-se um sistema de pintura de alto desempenho, contendo uma tinta de fundo rica em zinco, normalmente utilizado no setor elétrico para a proteção de estruturas metálicas expostas em ambientes de elevada agressividade atmosférica como, por exemplo, atmosferas industriais e marinhas (5). Seguiu-se o procedimento padrão de preparação do esquema e realizaram-se outras condições fora do padrão, conforme a seguinte descrição para os esquemas de pintura (ver também Tabela1):

- “A” - pintura realizada adequadamente, seguindo recomendações do fabricante e especificações técnicas.
- “B” - pintura realizada repetindo-se a condição A, exceto pela aplicação de 50% a mais de espessura seca da tinta de fundo, supondo-se que assim será obtido um melhor desempenho anticorrosivo.
- “C” - pintura sobre carepa de laminação, supondo-se que a preparação de superfície não é necessária para o bom desempenho do esquema, podendo ser suprimida para reduzir custos. A carepa de laminação constituiu-se na camada de óxido, lisa, dura e quebradiça que se forma durante o processo de laminação à quente do aço.
- “D” - pintura sem tinta de acabamento, supondo-se que esta não seria necessária porque a tinta de fundo e a intermediária já confeririam uma boa espessura para o esquema de pintura e, além de reduzir o custo, diminuiria o tempo de trabalho, aplicando uma demão a menos.

Tabela 1 – Esquemas de pintura investigados.

Esquema	Grau de limpeza	Espessura seca das tintas (μm)			Espessura seca dos esquemas de pintura (μm)
		De fundo	Intermediária	De acabamento	
		Epóxi-Zinco Poliamida	Epóxi Poliamida de Alta Espessura	Poliuretano Acrílico Alifático	
A	Sa 3	80	180	70	330
B	Sa 3	120	180	70	370
C	Não realizado	80	180	70	330
D	Sa 3	80	180	Não aplicada	260

A tinta de fundo dos esquemas é pigmentada com zinco metálico e seu mecanismo de atuação é baseado nos princípios da proteção catódica, em que o pigmento de zinco corrói-se preferencialmente ao aço, preservando a integridade da estrutura. Para avaliar as características de proteção galvânica da tinta de fundo, em cada esquema estudado, foram realizados ensaios eletroquímicos, pela medição de potencial eletroquímico ao longo do tempo, em duas condições: sem exposição do substrato e com exposição de 5% do substrato em relação à área total imersa em solução de cloreto de sódio 3,5%. As medições foram realizadas utilizando-se um eletrodo de referência de calomelano saturado e um multímetro de alta impedância. A fim de complementar a análise de resultados dos ensaios eletroquímicos, foi realizada microscopia ótica da seção transversal dos corpos de prova. O ensaio de exposição atmosférica foi conduzido por dois anos na estação de corrosão atmosférica do Cepel, localizada na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. A Ilha está situada na Baía de Guanabara, numa região de mangues, com teores relativamente elevados de sulfeto de hidrogênio (H_2S). A atmosfera local foi classificada em trabalho anterior (6) e é caracterizada como uma atmosfera urbana de média agressividade para o aço carbono. Além disso, o ensaio natural foi acelerado pela pulverização de solução de cloreto de sódio (NaCl 1%) sobre os corpos de prova, duas vezes por semana. O desempenho anticorrosivo foi avaliado, realizando-se uma incisão nos corpos de prova para simular um defeito mecânico no revestimento e o avanço de corrosão a partir da incisão foi medido, conforme a norma ASTM D1654 (7). Outros parâmetros de desempenho foram utilizados, após o ensaio, como a determinação do grau de gizamento, conforme a norma ISO 4628-6 (8) e o método Helmen, e a verificação do grau de aderência, pelo método de resistência à tração, conforme a norma ASTM D4541 (9). O gizamento é um defeito de pintura que surge durante a condição de serviço referente à degradação do revestimento pela exposição à radiação ultravioleta. A resina da tinta degrada-se, os pigmentos ficam soltos na superfície e são facilmente removíveis por meio de esfregamento ou lavagem com água. A avaliação do gizamento pela norma ISO 4628-6 (8) envolve a fixação de uma fita adesiva transparente à superfície do revestimento. Após a sua remoção, e pela quantidade de pó aderido à fita, determina-se o grau de gizamento através de comparação com padrões fotográficos apresentados na Norma. O grau de gizamento pode variar desde 0 (zero), que indica sua ausência, até 5 (cinco), que corresponde a uma intensa quantidade do mesmo na superfície. Quanto à avaliação segundo o método Helmen, o grau de gizamento é determinado num equipamento que mede a diminuição da intensidade de luz que atravessa a fita adesiva, contendo o pigmento solto. Neste caso, o resultado é expresso em (%), numa escala de 0

a 100%. Valores abaixo de 10%, em geral, indicam ausência de gizamento no revestimento. Adicionalmente, elaborou-se uma metodologia de classificação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura, com base em um sistema de pontuação. Para cada parâmetro de desempenho, atribuiu-se pontos aos esquemas de pintura, conforme o resultado experimental. Na Tabela 2, são descritos o sistema de pontos e sua interpretação. A utilização desta metodologia foi uma forma de padronizar por um único parâmetro a classificação de desempenho a partir de diferentes resultados experimentais.

Tabela 2 – Pontuação de desempenho de esquemas de pintura em ensaios.

Pontos	Interpretação
0	O esquema de pintura não atendeu o desempenho esperado
1	O esquema de pintura atendeu parcialmente o desempenho esperado
2	O esquema de pintura atendeu integralmente o desempenho esperado

Os custos dos esquemas de pintura foram estimados pelo somatório entre o custo de sua mão-de-obra e das tintas. A parcela de custo referente à mão-de-obra foi calculada pelo produto entre o total de tempo gasto nas operações técnicas realizadas para concluir a proteção anticorrosiva e o valor monetário de homem-hora (HH) do técnico de aplicação. As etapas para realização dos esquemas de pintura foram discriminadas em tratamento de superfície, preparação de tintas e aplicação de tintas. O gasto de tempo total (GT) de cada esquema de pintura foi calculado pela equação [1]. Os custos das tintas (R\$/m²) foram levantados a partir de informações fornecidas pelo fabricante, permitindo-se estimar também custos para recuperar os diferentes esquemas que apresentaram problemas, após os dois anos de ensaio, supondo a realização de um serviço de manutenção.

$$GT = GTS + GPE + GAE [1]$$

Onde: GT é o gasto total de tempo para aplicar o esquema de pintura, em h/m²; GTS é o gasto de tempo na etapa de tratamento de superfície, em h/m²; GPE é o gasto de tempo na etapa de preparação das tintas, em h/m²; GAE é o gasto de tempo na etapa de aplicação do esquema de pintura, em h/m².

Além dos resultados do estudo experimental, apresentam-se neste artigo as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, que contêm requisitos técnicos para a realização de procedimentos e para os produtos (tintas) utilizados nos serviços de pintura anticorrosiva do setor elétrico. O estudo experimental deixou evidente a partir da avaliação de desempenho anticorrosivo, e de custo dos esquemas de pintura, com as metodologias apresentadas, a importância das boas práticas de proteção anticorrosiva. Estas boas práticas de proteção anticorrosiva podem ser garantidas tendo-se como referência os padrões de qualidade estabelecidos nas Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação de Desempenho

A Figura 1 apresenta resultados dos ensaios eletroquímicos com as tintas de fundo pigmentadas com zinco, com 5% de área do substrato, na solução de cloreto de sódio 3,5%.

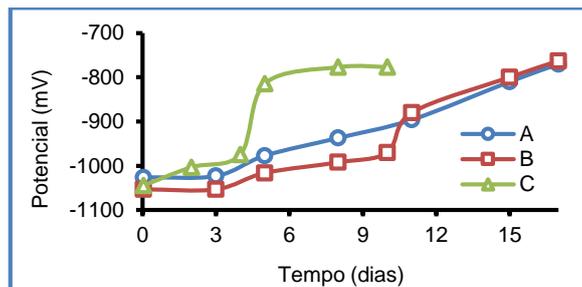


Figura 1 – Potencial eletroquímico ao longo do tempo, em solução de cloreto de sódio 3,5%, com 5% de área de substrato exposta. Observar que o resultado da tinta do esquema D é igual ao da A.

As tintas dos esquemas A e D apresentam a mesma curva, nas duas condições de ensaio. Sabe-se do comportamento eletroquímico de tintas pigmentadas com zinco em solução salina que medidas de potencial apresentam valores próximos a -1000 mV, enquanto houver zinco metálico disponível para proteger o substrato (10). Na medida em que o zinco vai sendo oxidado, o potencial começa a elevar-se para valores mais anódicos e quando atinge valores próximos a -700 mV, observa-se o aparecimento de corrosão vermelha do substrato. Assim, o desempenho neste ensaio será melhor quanto mais tempo for observado até o aparecimento de corrosão vermelha ou quanto mais tempo o registro do potencial demore a atingir patamares de -700 mV. Pela Figura 1, observou-se que o potencial da tinta do esquema B esteve mais catódico (mais eletronegativo) do que o da A e D até, aproximadamente, 12 dias de ensaio, o que é esperado, já que no caso B, a espessura do filme era 50% maior que nos demais. Porém, a partir de 12 dias de ensaio, tal diferença deixa de existir. No caso do esquema C, observou-se que a elevação de potencial e o aparecimento de corrosão vermelha aconteceram na metade do

tempo das demais. Os resultados comparativos entre os esquemas de pintura foram equivalentes no ensaio sem área de substrato exposta, porém o tempo para ocorrência das mudanças de potencial foi maior, chegando a 60 dias. Não se chegou a detectar o aparecimento de corrosão vermelha, pois o consumo de zinco para proteger o substrato apresentou uma cinética mais lenta. Através de análises de microscopia ótica da seção transversal dos corpos de prova (ver Figura 2), comprovou-se que, apesar da quantidade de zinco disponível na tinta ser a mesma entre os esquemas A, D e C, a carepa de laminação dificultou o contato elétrico das partículas de pigmento (círculos brilhantes na Figura 2) com o metal base e, por isso, o zinco metálico não conseguiu atuar no esquema C tão bem quanto nos esquemas A e D. Portanto, torna-se muito importante a limpeza da superfície anteriormente à aplicação do revestimento, sobretudo para aqueles que têm tintas de fundo pigmentadas com zinco. Nestes casos, sabe-se que o melhor padrão de limpeza (Sa 3, no caso de jateamento abrasivo seco) é o mais indicado. O ensaio natural, conduzido de forma acelerada já fora estudado pela equipe de Corrosão do Cepel (6), no qual foram determinadas as taxas de corrosão de metais padrão (zinco, cobre, alumínio e aço carbono). Comparando-se a condição de exposição exclusivamente natural com aquela adicionada de pulverização da solução salina, observou-se que, no aço carbono, a taxa de corrosão aumentou de 170 g/(m².ano), na primeira condição, para 1650 g/(m².ano), na última. Isto significa que a atmosfera caracterizada como de média agressividade, tornou-se equivalente a uma atmosfera de extrema agressividade. A mesma característica é encontrada em atmosferas marinhas, tal como em Fortaleza (11), justificando-se a utilização de um esquema de pintura com tinta de fundo rica em zinco, no presente trabalho.

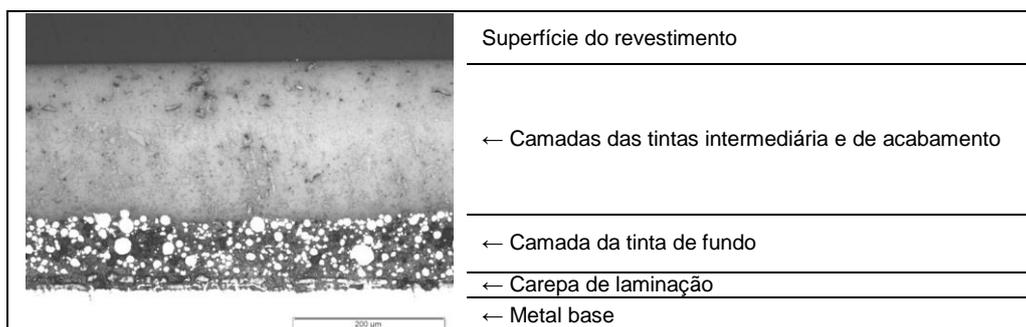


Figura 2 – Microscopia da seção transversal do esquema C, em ampliação de 300 vezes.

A Tabela 3 apresenta os resultados de avanço de corrosão, dos métodos de determinação do grau de gizamento dos esquemas de pintura, e de aderência por resistência à tração, após o ensaio natural. Pelo avanço de corrosão, verifica-se que o único esquema que não apresentou um desempenho coerente com o tipo de tinta de fundo utilizada foi o C. Como a tinta rica em zinco atua por um mecanismo baseado nos princípios da proteção catódica, a partir da incisão, esperava-se um excelente desempenho, com avanço de corrosão próximo de zero. Entretanto, este comportamento não ocorreu no caso do esquema C, confirmando seu resultado dos ensaios eletroquímicos. Mais uma vez, a presença da carepa de laminação foi responsável por prejudicar o contato elétrico dos pigmentos de zinco com a base metálica, comprometendo o desempenho da tinta. Vê-se que o comportamento do esquema C no ensaio eletroquímico se reproduziu no ensaio natural acelerado. Quanto aos resultados obtidos pelos dois métodos de determinação do grau de gizamento, deve-se interpretá-los com certo cuidado. Devido ao fato da estação de ensaio estar localizada em uma área urbana, observou-se a presença de uma grande quantidade de material particulado e sujidades aderidas na superfície dos corpos de prova, após os 2 anos de ensaio. Os resultados obtidos com os esquemas A, B e C estiveram relacionados a estas sujidades e não ao gizamento da tinta da última demão. Nestes esquemas, a tinta que era, inicialmente, branca não apresentou pó branco aderido na fita adesiva, o que seria resultante do pigmento da tinta, no caso de gizamento. O que estava aderido na fita adesiva foi um pó escuro, provavelmente constituído de sujidades e particulados do ambiente. De modo contrário, o esquema D apresentou uma quantidade significativa de pó branco aderido na fita adesiva, resultante do gizamento intenso. Portanto, somente no caso deste último, o que se mediu foi o gizamento formado. Nos outros casos, pode-se considerar que este defeito foi nulo. Tais resultados são coerentes e esperados, porque somente no esquema D não foi aplicada a tinta de acabamento de poliuretano acrílico alifático, que apresenta alta resistência à radiação ultravioleta. A tinta intermediária, a base de resina epóxi não tem a mesma resistência e não é indicada para ambientes desabrigados (5). Portanto, seguir a especificação do esquema de pintura aplicando todas as demãos de tinta previstas é uma maneira de garantir a qualidade do serviço na proteção anticorrosiva. Cada tinta tem uma função no esquema e sua especificação depende das condições de exposição ao ambiente, para o correto dimensionamento da proteção anticorrosiva. Em relação aos resultados do ensaio de aderência, todos os esquemas apresentaram tensões de ruptura na faixa de 8 a 11 MPa. Nos casos dos esquemas A, B e C, o resultado de falha de aderência é esperado, pois tintas de fundo pigmentadas com zinco são porosas e não apresentam muita coesão. A porosidade é uma característica necessária ao bom contato elétrico entre as partículas de zinco e o metal base, para que o pigmento atue de forma satisfatória, corroendo-se para proteger o substrato. Por isso, os resultados de aderência são de natureza coesiva B (na camada de tinta de fundo). No caso do esquema D, obteve-se um resultado de aderência não desejável, com falha de natureza adesiva entre o substrato e a tinta de fundo (A/B), o que pode ser explicado pela ausência da tinta de acabamento. Esta, por ser mais impermeável que a tinta intermediária, forneceu uma maior proteção aos esquemas A, B e C. No caso do esquema D, o revestimento ficou mais susceptível aos

agentes de intemperismo, deteriorando mais rapidamente a película e ocasionando um resultado insatisfatório na aderência ao substrato. Novamente, tem-se um resultado que corrobora a importância da correta especificação do esquema de pintura. Com base em todos os resultados apresentados da avaliação de desempenho dos diferentes esquemas de pintura investigados, a Tabela 4 apresenta a pontuação para classificar o desempenho. Este resultado será avaliado em conjunto com o custo dos esquemas de pintura (R\$/m²), apresentados a seguir.

Tabela 3 – Resultados de avanço de corrosão e grau de gizamento, após ensaio natural acelerado.

Esquema de pintura	Avanço de corrosão (mm)	Grau de gizamento		Aderência - ASTM D 4541 (9)	
		Padrão fotográfico ISO 4628-6 (8)	Método Helmen (%)	Tensão de ruptura (MPa)	Natureza da Falha
A	0,0	2	20	8,6	B (coesiva da tinta de fundo)
B	0,0	3	30	10,4	
C	9,3	3	28	11,4	
D	0,0	5	82	8,3	A/B (adesiva)

Tabela 4 – Pontuação de desempenho para os esquemas de pintura.

Ensaio	Esquema de pintura			
	A	B	C	D
Potencial vs. tempo com 5% de área de substrato exposta	2	2	0	2
Potencial vs. tempo sem área de substrato exposta	2	2	1	2
Ensaio de exposição atmosférica – avanço de corrosão a partir da incisão	2	2	0	2
Ensaio de exposição atmosférica – presença de gizamento	2	2	2	0
Aderência após ensaio de exposição atmosférica	2	2	2	0
Total de pontos	10	10	5	6

3.2 Avaliação de Custo

Com base nas observações experimentais, as parcelas e o resultado da equação [1] foram estimados para cada esquema de pintura. A partir do tempo total gasto, estimou-se o custo de mão-de-obra, que junto com o custo das tintas, resultaram no custo total dos esquemas de pintura (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Dados de avaliação de custos dos esquemas de pintura.

Avaliação de custo	Esquema de pintura			
	A	B	C	D
Tempo gasto no tratamento de superfície, GTS (h/m ²)	0,55	0,55	0,0	0,55
Tempo gasto na preparação das tintas, GPE (h/m ²)	1,70	1,70	1,70	1,10
Tempo de aplicação das tintas, GAE (h/m ²)	1,94	1,94	1,94	1,39
Tempo total gasto para o esquema, GT (h/m ²)	4,19	4,19	3,64	3,04
Custo de mão-de-obra (R\$/m ²)	41,90	41,90	36,40	30,40
Custo de tintas (R\$/m ²)	24,24	30,43	24,24	20,20
Custo total do esquema de pintura (R\$/m ²)	66,14	72,33	60,64	50,60

O esquema C não teve tratamento de superfície, reduzindo-se uma etapa. Na etapa de preparação de tintas, o tempo gasto depende da quantidade de demãos do esquema de pintura e se a tinta é bicomponente ou monocomponente. Todas as tintas foram bicomponentes, e como somente o esquema D foi aplicado com uma demão a menos (sem acabamento), seu gasto de tempo nesta etapa foi menor. Na etapa de aplicação das tintas, o tempo depende sobretudo da quantidade de demãos e, portanto, novamente o esquema D, consumiu menos tempo. O maior custo de tintas foi com o esquema B, devido à aplicação de uma maior espessura da tinta de fundo, aumentando também o custo total do esquema. O segundo maior custo total foi o do esquema A, mas em termos de tintas, o gasto foi equivalente ao do esquema C. Este ficou com custo total menor em relação ao A, uma vez que teve menor custo de mão-de-obra, pela supressão da preparação de superfície. Como o esquema D não recebeu a demão de tinta de acabamento apresentou os menores custos.

3.3 Avaliação de Desempenho e Custo

Os resultados obtidos no item anterior referem-se a uma análise exclusivamente econômica. Com base somente nestes dados, poderia se escolher o esquema D como melhor opção para a proteção anticorrosiva, por ser o de menor custo. Porém, há uma mudança nesta avaliação, quando se associa o resultado do custo com o de desempenho anticorrosivo. Neste sentido, tomando-se o esquema A como referência, o desempenho e o custo dos demais esquemas foram calculados em relação a este. Os resultados são apresentados na Figura 3, onde valores negativos indicam que houve redução de desempenho ou custo e os positivos, aumento, em relação ao esquema A. O esquema de referência escolhido foi o A, porque é o esquema onde todos os procedimentos para adequação aos padrões de qualidade foram seguidos em sua aplicação. A preparação de superfície foi realizada de forma adequada, todas as demãos de tinta foram aplicadas nas espessuras indicadas pelo fabricante em suas

especificações técnicas. Por isso, este esquema apresentou o melhor desempenho anticorrosivo, atendendo completamente o esperado. Pelos resultados da Figura 3, pode-se fazer uma análise de desempenho e custo dos demais esquemas em comparação ao esquema de referência. O esquema de pintura B apresentou um custo 9% maior que o esquema de referência, porque foi aplicada uma espessura da tinta de fundo 50% maior que no caso do esquema A. Esta simulação foi realizada supondo-se que uma maior quantidade de tinta corresponderia a uma maior proteção, em função do aumento da quantidade de pigmento anticorrosivo na película. Entretanto, este fato não foi observado e os esquemas A e B foram equivalentes em termos de desempenho, não havendo vantagem no aumento da espessura da tinta de fundo. Além disso, pelo fato das tintas ricas em zinco serem muito porosas, tecnicamente, a sua especificação quanto à espessura seca deve ser obedecida, uma vez que, neste tipo de tinta, o aumento da espessura pode gerar a formação de trincas e perda de aderência ao substrato.

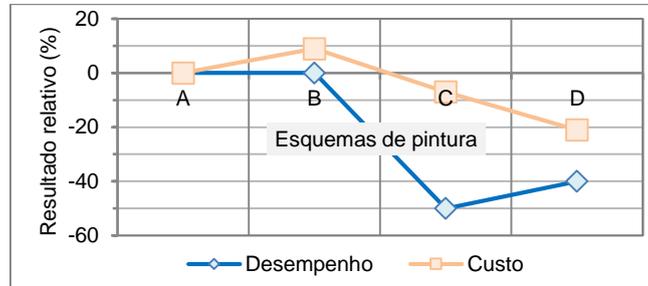


Figura 3 – Desempenho e custo dos esquemas de pintura em relação ao esquema A.

O esquema de pintura C foi aplicado seguindo todas as especificações técnicas das tintas, tal como no esquema A, porém não foi realizada a preparação de superfície e o esquema foi aplicado sobre carepa de laminação. A redução de custo em relação ao esquema de referência foi de apenas 7% e a perda de desempenho de 50%, evidenciando que a proteção anticorrosiva de um esquema de pintura pode ser bastante comprometida, quando a preparação de superfície não segue procedimentos padronizados. No caso deste estudo, o esquema de pintura C possui alto custo e alta performance para proteção de estruturas metálicas em meios de elevada agressividade (industriais ou marinhos), porém teve seu desempenho comprometido por um procedimento equivocado na etapa de preparação de superfície. De fato, comprovou-se que a carepa de laminação deve ser removida, pois esta impediu o contato elétrico das partículas de zinco da tinta de fundo com a base metálica, fornecendo resultados insatisfatórios. Quanto ao esquema D, este apresentou um custo 21% menor em comparação ao A, devido à ausência da demão de tinta de acabamento. Como o tipo de esquema em questão foi elaborado para ser utilizado em áreas desabrigadas, com incidência solar, a tinta de acabamento possui uma função importante no esquema de pintura, deve ter resistência à radiação ultravioleta e ser impermeável aos agentes de intemperismo. A tinta intermediária não apresenta tais características, pois não fica exposta aos agentes de intemperismo, e sua função é conferir selagem à tinta de fundo e aumento de espessura ao esquema de pintura, para aprimorar suas propriedades de barreira. Portanto, o desempenho do esquema D deixou a desejar quanto à resistência à radiação ultravioleta e à aderência, com formação de gizamento e falha de aderência adesiva entre o substrato e a tinta de fundo, apresentando um desempenho 40% menor do que no caso do esquema de referência.

Neste estudo, também foi considerado o custo de manutenção destinado à correção dos erros cometidos por ocasião da aplicação. Verificou-se que após 2 anos de exposição nas condições de agressividade atmosférica do ensaio, os esquemas A e B apresentavam excelentes desempenhos e foram equivalentes entre si, com a diferença que o custo do esquema B foi 9% maior que o do A. Nestes casos pode-se considerar que não é necessário realizar qualquer manutenção, uma vez que os mesmos continuarão protegendo as estruturas metálicas com um desempenho esperado e o seu custo de manutenção seria igual a zero. Nos esquemas C e D, simulou-se uma manutenção após os 2 anos de ensaio, necessária para corrigir as falhas e adequar os desempenhos anticorrosivos ao que se espera de esquemas deste tipo. Para esta adequação, no caso do esquema C é necessário realizar o jateamento abrasivo seco em toda a pintura, a fim de removê-la junto com a carepa de laminação, preparando a superfície até o grau de limpeza Sa 3 e então, aplicar o esquema de pintura, seguindo suas especificações técnicas, tal como foi feito para o esquema A. No caso do esquema D, duas formas de recuperação diferentes foram avaliadas, em termos de manutenção. Num primeiro momento, poderia se pensar em simplesmente lavar, lixar levemente e passar um solvente na superfície da tinta intermediária e então, aplicar a demão da tinta de acabamento. Este é um procedimento tipicamente realizado quando se ultrapassa o intervalo de repintura entre a tinta intermediária e a tinta de acabamento e costuma apresentar bom resultado de aderência entre as demãos. Porém, o procedimento é realizado ainda em fase de aplicação do esquema de pintura. Como a proposta é realizar o procedimento depois de 2 anos nos quais o revestimento ficou submetido às condições de intemperismo, deve ser levado em conta o grau de comprometimento do esquema de pintura em termos do seu desempenho anticorrosivo. Neste quesito, o resultado do ensaio de aderência por tração evidenciou uma deterioração da película, ocasionando a perda de aderência da mesma ao substrato. Portanto, é arriscado realizar a manutenção neste esquema somente com o lixamento e aplicação da tinta de acabamento, pois a aderência do revestimento ao substrato já está comprometida. Será um custo menor no momento, para dali a pouco tempo, novamente se fazer necessária outra manutenção, devido à possível perda de aderência do esquema de pintura. Assim, fica justificado que a melhor prática para serviços de manutenção no caso do esquema D é a repintura total, tal como no esquema C. A repintura parcial somente seria indicada se a aderência não estivesse comprometida,

pela deterioração da película frente aos agentes de intemperismo. Este resultado mostra que é importante também se realizar uma avaliação de desempenho de esquemas de pintura antigos antes de definir o plano de manutenção (12). Com base nesta análise, os custos de manutenção dos esquemas D seriam os mesmos do esquema C, considerando a repintura total nos dois casos. Estes custos estão apresentados em forma gráfica na Figura 4(a), em conjunto com os custos da fase de aplicação de todos os esquemas de pintura. Comparam-se os custos iniciais de aplicação com os custos estimados de manutenção, ficando claro que a correção dos problemas apresentados, no caso dos esquemas C e D, tornou estes mais onerosos que os esquemas A e B, e que a manutenção somente foi necessária porque não foram seguidas as boas práticas de pintura anticorrosiva no tempo inicial. A Figura 4(b) complementa o resultado da Figura 4(a), apresentando em termos percentuais o quanto cada esquema foi mais oneroso em relação ao esquema A (referência), considerando a soma dos custos inicial e de manutenção.

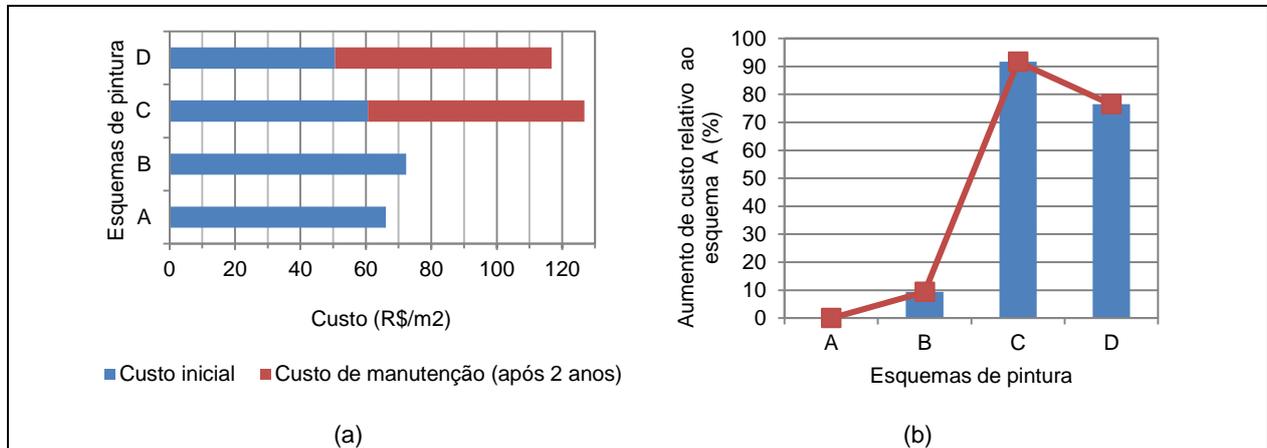


Figura 4 – Custo inicial e custo de manutenção após 2 anos de condição de serviço dos esquemas de pintura.

3.4 Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva

Os resultados experimentais apresentados evidenciam a importância de se atender requisitos de qualidade na elaboração de serviços de pintura. Por isso, as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva foram elaboradas, sendo uma ferramenta que contém padrões de qualidade para a realização de procedimentos e utilização de tintas em esquemas de pintura, na proteção anticorrosiva de estruturas metálicas e equipamentos elétricos. Estas Normas foram as primeiras Normas Técnicas da Eletrobras, elaboradas pelas Empresas Eletrobras, a fim de atender uma demanda do setor elétrico. Uma vez que são garantidas as boas práticas nos serviços de proteção anticorrosiva, amplia-se a vida útil das estruturas, exigindo-se menos paradas para manutenção, diminuindo-se custos, tal como foi mostrado pelos resultados experimentais. Com as Normas foram padronizados os procedimentos de todas as etapas de serviços de pintura anticorrosiva, compreendendo recebimento de materiais, preparação de superfície, aplicação de esquemas de pintura, inspeção e critérios de aceitação e rejeição. São 9 (nove) Normas de procedimentos, em que estão contemplados:

- requisitos gerais para os serviços de pintura;
- aplicação de pintura nova;
- pintura em aço galvanizado;
- pintura em aço carbono tratado por ferramentas mecânicas;
- requisitos sobre jateamento abrasivo e hidrojateamento;
- testes de compatibilidade para identificação de pintura existente;
- definição de cores de equipamentos e estruturas metálicas das empresas Eletrobras;
- classificação do grau de degradação de pintura existente.

Adicionalmente, foi criado um Guia Prático para os serviços de pintura, contendo os requisitos das demais Normas, de forma condensada, e fluxogramas para orientação do uso das Normas, conforme o tipo de pintura a ser realizado. Além dos procedimentos, o conjunto dos documentos inclui Normas de tintas, onde estão estabelecidos requisitos técnicos de diferentes tecnologias de tintas de fundo, intermediária e de acabamento, que compõem esquemas de pintura utilizados em serviços de proteção anticorrosiva, no setor elétrico. Estas Normas contemplam 21 (vinte e uma) diferentes tecnologias disponíveis no mercado, em que estão estabelecidas condições de ensaio para análise das tintas líquidas e para avaliar as películas secas na proteção dos substratos metálicos. São definidos critérios de aceitação dos resultados destes ensaios, ou seja, os padrões de desempenho anticorrosivo, cujos produtos testados devem atender. Dessa forma, tem-se uma garantia de qualidade para o desempenho das tintas, nas reais condições de utilização. O trabalho de elaboração das Normas permitiu uma maior integração dentro das empresas Eletrobras, entre os funcionários que estão em contato com problemas de corrosão, nos seus trabalhos do dia-a-dia. Assim, iniciou-se uma troca de experiências benéfica para evitar perdas de tempo e custos. Uma vez que, muitos dos problemas de corrosão são semelhantes entre as Empresas e a experiência de uma equipe pode facilitar ou direcionar a solução para outra. Este intercâmbio de conhecimentos possibilitou a obtenção de subsídios técnicos práticos para adequar as Normas a real condição de uso. Com vigência desde março de 2016, as Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva são de domínio público e

estão disponíveis para acesso na página da Eletrobras na internet em: <http://www.eletrabras.com/elb/normaseletrabrasdepinturaanticorrosiva>.

4.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo, mostrou-se que atender padrões de qualidade para a realização de serviços de pintura é fundamental para garantir um bom desempenho da proteção anticorrosiva. Tal fato foi comprovado com base em uma pesquisa experimental, conduzida por dois anos em ensaio de exposição atmosférica com elevada agressividade de corpos de prova de aço carbono, revestidos com esquemas de pintura contendo tinta de fundo rica em zinco. Por uma análise de desempenho e de custos associados à elaboração dos esquemas de pintura, bem como à manutenção daqueles que apresentaram problemas na proteção anticorrosiva, foi possível verificar que seguir procedimentos adequados no emprego dos esquemas de pintura resultaram na melhor proteção e num menor custo relativo. Aqueles procedimentos que fugiram aos padrões de qualidade e inicialmente apresentaram menor custo, a longo prazo, tiveram desempenho inferior e necessitaram de intervenção para manutenção. O trabalho destacou que o bom desempenho anticorrosivo da pintura está relacionado ao atendimento dos padrões de qualidade, evitando necessidade de manutenção prematura e por isso, sendo a opção de menor custo. As Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva contemplam tais padrões de qualidade de procedimentos e de tintas, a serem utilizados nos serviços de pintura aplicados a qualquer tipo de equipamento e estrutura existentes nas empresas do setor elétrico. Vale destacar que as decisões tomadas apenas com base numa avaliação imediata, em que esquemas de pintura de menor custo são selecionados, não levam em consideração a vida útil e disponibilidade das estruturas e equipamentos, indicador de desempenho sobre o qual está estruturada a remuneração das empresas do setor elétrico. Ficou claro pelo artigo que a escolha de esquemas e procedimentos de proteção tecnicamente mais apropriados às condições operacionais e ambientais dos equipamentos e estruturas é a garantia de um melhor desempenho anticorrosivo, maior intervalo entre as manutenções, e representa uma grande economia a médio e curto prazos. Além do custo para a manutenção da pintura é preciso levar em consideração que em muitos casos é necessário tirar os equipamentos de operação, indisponibilizando os ativos.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe técnica das empresas Eletrobras pelo trabalho em conjunto de elaboração das Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva, bem como pela experiência e conhecimentos técnicos resultantes deste trabalho. Este artigo foi aprovado e incentivado por esta equipe, comprometida com a disseminação das boas práticas de proteção anticorrosiva.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NUNES, L. P., LOBO, A. C. O. Pintura industrial na proteção anticorrosiva, 1998.
- (2) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-001, Requisitos técnicos de serviços de pintura anticorrosiva, 2016.
- (3) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 8501-1, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings, 2007.
- (4) ASTM INTERNATIONAL, ASTM D4417, Standard test methods for field measurement of surface profile of blast cleaned steel, 2014.
- (5) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-004, Esquemas de pintura de equipamentos e estruturas metálicas, 2016.
- (6) 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. 6th International Corrosion Meeting - INTERCORR 2016, Búzios – RJ, 2016.
- (7) ASTM INTERNATIONAL, ASTM D1654, Standard test method for evaluation of painted or coated specimens subjected to corrosive environments, 2008.
- (8) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO 4628-6, Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance -- Part 6: Assessment of degree of chalking by tape method, 2011.
- (9) ASTM INTERNATIONAL, ASTM D4541, Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers, 2009.
- (10) FRAGATA, F. L., ORDINE, A. P. Desempenho anticorrosivo de esquemas de pintura com tintas primárias em pó pigmentadas com zinco. Corrosão e proteção de materiais, v. 28, p. 55-64, 2009.
- (11) MORCILLO, M., CHICO, B., FUENTE, D., SIMANCAS, J. Looking back on contributions in the field of atmospheric corrosion offered by the Micat Ibero-american testing network. International Journal of Corrosion, vol. 2012, Article ID 824365, 24 pages, 2012.
- (12) NORMAS ELETROBRAS DE PINTURA ANTICORROSIVA, NE-009, Classificação de grau de degradação em pintura, 2016.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alberto Pires Ordine, nascido em 1974, no Rio de Janeiro – RJ, graduou-se em engenharia química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1997, obtendo o título de Mestre em Ciências, em 2000 e de Doutor em Ciências, em 2004, ambos pelo Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ, na área de Corrosão. Atuou como professor universitário em cursos de engenharia, como pesquisador na área de eletroquímica e desde 2006, é pesquisador efetivo do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel, realizando pesquisa na área de corrosão para o setor elétrico. Em 2011, tornou-se gerente do Laboratório de Corrosão do Cepel. Atualmente, é autor de, aproximadamente, 70 publicações, considerando artigos técnicos em revistas e em anais de congressos e seminários.