

---

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).

## **Avaliação de custo e benefício de esquemas de pintura de base aquosa, contendo tintas de fundo pigmentadas com zinco, em comparação a esquemas tradicionais**

Alberto Pires Ordine<sup>a</sup>, Cristina da Costa Amorim<sup>b</sup>, Filipe Batista Fonte<sup>c</sup>, Marcos Martins de Sá<sup>d</sup>, Wendell Porto de Oliveira<sup>e</sup>

### **Abstract**

---

Waterborne paints are promising options to solvent-borne ones. In the electric sector of Brazil, its structures demand maintenance services often, which can be carried out by the use of paint systems technologies. The more productive are the maintenance services, the lower is the cost for the enterprises. Considering this context, it was accomplished an experimental research, investigating the anticorrosive performance, the productivity and the cost of waterborne paint technologies, in comparison to traditional solvent-borne paint systems. By the estimation of human resource costs, added to the price and to the yield of paints, a methodology was developed to calculate the paint systems costs. It was observed that the zinc metallic content in the dry film of the primer should be enhanced in order to improve the galvanic protection behavior of the waterborne paint systems. Depending on the aggressiveness, the intermediate paint layer was very important to guarantee a good barrier property for the paint system. One of the waterborne systems showed an equivalent performance compared to the solvent-borne technology and its cost was just 9% higher, a promising result to be used in aggressive environments.

**Keywords:** waterborne, cost, anticorrosive performance, paint system, zinc-rich paint.

### **Resumo**

---

As tintas de base aquosa são promissoras na substituição daquelas à base de solventes. No setor elétrico, suas estruturas vêm exigindo manutenção e são recuperadas empregando-se esquemas de pintura de diferentes tecnologias. Quanto mais produtivos forem os procedimentos de manutenção, menor o custo para as empresas. Neste contexto, foi realizada uma pesquisa experimental, investigando-se o desempenho anticorrosivo, a produtividade e o custo de tecnologias de tintas de base aquosa, em comparação às tradicionais à base de solventes. Pela estimativa de custo de mão de obra, associado ao preço e rendimento das tintas, desenvolveu-se uma metodologia para se determinar o custo dos esquemas de pintura. Observou-se que aumentar o teor de zinco metálico na película seria necessário para aprimorar a propriedade de proteção galvânica da tinta de fundo, nas tecnologias de base aquosa. Em função da agressividade do meio, a tinta intermediária foi importante para aumentar a propriedade de barreira do esquema. Um dos esquemas de pintura de base aquosa

---

<sup>a</sup> D. Sc., Engenheiro Químico – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

<sup>b</sup> M. Sc, Química Industrial – Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

<sup>c</sup> Graduando, Engenheiro Químico – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

<sup>d</sup> Técnico em Química – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

<sup>e</sup> D. Sc., Engenheiro Mecânico – Furnas Centrais Elétricas

apresentou desempenho equivalente àquele da tecnologia tradicional, e custo 9% superior, indicando ser uma alternativa com potencial de aplicação em ambientes agressivos.

**Palavras-chave:** base aquosa, custo, desempenho anticorrosivo, esquema de pintura, tinta rica em zinco.

## **Introdução**

---

Entre as novas tecnologias desenvolvidas no mercado de tintas industriais, vêm ganhando espaço significativo as tintas de base aquosa, cuja principal vantagem é o teor mínimo ou a ausência de solventes orgânicos em suas composições, sendo ecologicamente mais adequadas. Também por usarem a água como diluente, não agredem o meio ambiente, nem a saúde dos trabalhadores.

Seu custo ainda pode ser um pouco mais elevado que suas correspondentes tintas líquidas à base de solventes, porém com a disseminação de utilização de novos produtos de base aquosa, a tendência, ao longo do tempo, é a redução de custo, tornando os produtos competitivos no mercado.

Outra variável de redução de custo na proteção anticorrosiva está relacionada ao desenvolvimento destes produtos, com funções particulares, que permitem reduzir etapas de pintura. Dessa forma, ao final da aplicação de um esquema de pintura, aquele com menos etapas tem menor custo.

Assim, este artigo apresenta resultados experimentais de desempenho anticorrosivo de tintas de base aquosa e tintas à base de solventes tradicionais, sendo que uma das tintas de base aquosa é uma tecnologia em que se pode reduzir o número de etapas de aplicação, baixando o custo da pintura, em comparação com esquemas tradicionais à base de solventes. O objetivo do trabalho foi avaliar o custo relativo das variáveis de aplicação dos esquemas de pintura e o desempenho anticorrosivo dos diferentes esquemas em ensaio acelerado de corrosão. Ao final de dois anos do estudo, validando os resultados com exposição ao intemperismo natural, foi possível realizar uma análise da relação entre o custo e o benefício das tecnologias investigadas.

## **Metodologia**

---

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório de Corrosão do Cepel, investigando-se diferentes tecnologias de pintura anticorrosiva, que tem aplicação para o setor elétrico brasileiro, sobretudo na proteção de estruturas sujeitas à exposição atmosférica de elevada agressividade, como, por exemplo, ambientes marinhos e industriais.

Para estes tipos de ambiente, justifica-se a utilização de esquemas de pintura contendo tintas de fundo pigmentadas com zinco metálico. É conhecido que, no caso de um dano na pintura, a proteção anticorrosiva fornecida pelas tintas ricas em zinco é bem superior do que a das tintas que não possuem o pigmento de zinco, cujo mecanismo de proteção é somente por barreira física entre a base metálica e o ambiente. No caso das tintas pigmentadas com zinco, este pigmento atua na proteção do substrato segundo os princípios da proteção catódica, ou seja, o

zinco torna-se um anodo de sacrifício, corroendo-se preferencialmente ao aço carbono, impedindo o avanço da corrosão vermelha a partir de um dano na pintura.

Neste trabalho investigou-se o desempenho anticorrosivo de diferentes tecnologias de esquemas de pintura, contendo tintas de fundo pigmentadas com zinco, em comparação a um esquema que atua exclusivamente por barreira. Dentre os esquemas estudados, estão as tecnologias de base aquosa e à base de solventes. A Tabela 1 apresenta os esquemas de pintura avaliados e as médias de espessura seca, determinada após cada demão de tinta. Na Tabela também são indicados quais os esquemas com tintas de tecnologia à base de solvente e de base aquosa.

**Tabela 1 – Esquemas de pintura investigados.**

| Esquema                     | Tinta de fundo  | Tinta Intermediária  | Tinta de Acabamento                                     |
|-----------------------------|---|--|---|
| Asa.Barr<br>(base solvente) | Epóxi-Fosfato de Zinco de Alta Espessura (135 $\mu\text{m}$ ) | -  | Poliuretano Acrílico (105 $\mu\text{m}$ )               |
| Asa.ZnS<br>(base solvente)  | Epóxi-Zinco Poliamida (80 $\mu\text{m}$ )                     | Epóxi Poliamida de Alta Espessura (180 $\mu\text{m}$ )           | Poliuretano Acrílico (70 $\mu\text{m}$ )                |
| Asa.Zna1<br>(base aquosa)   | Epóxi-Zinco/Óxido de Ferro Micáceo (80 $\mu\text{m}$ )        | -  | Poliuretano Acrílico de Base Aquosa (80 $\mu\text{m}$ ) |
| Asa.Zna2<br>(base aquosa)   | Epóxi-Zinco (80 $\mu\text{m}$ )                               | Epóxi Óxido de Ferro Micáceo de Base Aquosa (120 $\mu\text{m}$ ) | Poliuretano Acrílico de Base Aquosa (60 $\mu\text{m}$ ) |

Em todos os esquemas de pintura, o substrato foi o mesmo, aço carbono AISI 1020, com grau A de intemperismo (carepa de laminação intacta), conforme a norma ISO 8501-1 (1). Os corpos de prova foram confeccionados a partir de chapas nas dimensões de 100 mm por 150 mm e espessura de 6,4 mm. A preparação de superfície foi realizada por meio de jateamento abrasivo seco, utilizando granalha de aço angular como abrasivo. O grau de limpeza obtido foi Sa 3 (ao metal branco), conforme a norma ISO 8501-1 (1). O perfil de rugosidade médio foi igual a 30  $\mu\text{m}$ , medido com um rugosímetro digital do tipo agulha, conforme a norma ASTM D 4417 (2), método B.

O esquema Asa.Barr é do tipo barreira e utilizado no setor elétrico para casos de pintura nova ou repintura total, e por isso, foi incluído no estudo, como uma referência de comparação. Outra referência é o esquema Asa.ZnS, utilizado no setor elétrico para a proteção de estruturas metálicas em ambientes muito agressivos, como, por exemplo, atmosferas industriais e marinhas. Neste esquema, a tinta de fundo é pigmentada com zinco metálico e, ao contrário do esquema anterior (Asa.Barr), seu mecanismo de atuação é baseado nos princípios da proteção catódica, conferindo desempenho anticorrosivo superior ao substrato, em danos mecânicos. Estes dois esquemas são tradicionais e à base de solventes.

O esquema Asa.Zna1 é uma inovação tecnológica, de base aquosa, com tinta de fundo pigmentada com zinco metálico, sugerida como alternativa ao esquema Asa.ZnS. O primeiro, além de ter a importância ecológica, permitiria a redução de uma etapa de aplicação, a da tinta

intermediária. A princípio, pelo fato da tinta de fundo conter dois tipos de pigmentos, o zinco metálico e o óxido de ferro micáceo, a tinta tem uma dupla atuação, como tinta de fundo e intermediária. O óxido de ferro micáceo propõe-se a aprimorar o papel de barreira, característico das tintas intermediárias. Pela redução de uma etapa na aplicação do esquema, haveria vantagem em termos de custo. Tal avaliação de custo foi realizada no trabalho e será apresentada adiante, em detalhes.

O esquema Asa.Zna2 corresponde à versão de base aquosa em que a tinta intermediária foi aplicada. Neste caso, a tinta de fundo tem apenas o zinco como pigmento anticorrosivo. O pigmento de óxido de ferro micáceo está presente somente na composição da tinta intermediária. A tinta de acabamento utilizada foi a mesma nos esquemas Asa.Zna2 e Asa.Zna1, um poliuretano acrílico de base aquosa.

Adicionalmente, foram aplicadas somente as tintas de fundo pigmentadas com zinco nas chapas de aço, para a realização de ensaios eletroquímicos. Tais corpos de prova foram denominados ZnS, Zna1 e Zna2, como as tintas de fundo dos esquemas Asa.ZnS, Asa.Zna1 e Asa.Zna2, respectivamente. Os ensaios eletroquímicos efetuados foram medidas de potencial ao longo do tempo, em duas condições, a saber: sem exposição do substrato e com exposição de 5% do substrato em relação à área total. O monitoramento de potencial foi realizado em imersão em solução de cloreto de sódio 3,5%, com auxílio de 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.

Para avaliar o desempenho anticorrosivo dos esquemas de pintura foi realizado um ensaio cíclico de corrosão, em que os corpos de prova eram submetidos a ciclos constituídos por 3 dias em câmara de exposição à radiação ultra violeta B (ciclo de 8 h de luz a 70 °C e 0,49 W/m<sup>2</sup>/nm e 4 h de condensação de umidade a 50 °C), 1 dia em freezer, a -10 °C e 3 dias em câmara de névoa salina contínua, conforme norma ASTM B117 (3). O tempo total de ensaio foi de 4107 h, para os esquemas Asa.Barr, Asa.ZnS e Asa.Zna1. O esquema Asa.Zna2 foi submetido ao mesmo tipo de ensaio, porém em outro momento do projeto de pesquisa com 4300 h de exposição. Apesar desta pequena diferença entre os tempos de ensaio, não houve prejuízo na interpretação de resultados de desempenho anticorrosivo, como será apresentado adiante.

Somente para os esquemas Asa.Barr, Asa.ZnS e Asa.Zna1, o ensaio cíclico de corrosão foi corroborado com resultados de um ensaio de exposição natural na estação de corrosão atmosférica do Cepel, caracterizada como uma atmosfera urbana de média agressividade, para aço carbono (4). Este ensaio foi conduzido de forma acelerada, pela pulverização de solução de cloreto de sódio 1% sobre os corpos de prova, duas vezes por semana, durante 2 anos.

Antes dos ensaios de desempenho anticorrosivo, com o objetivo de simular danos à película em condições de trabalho, em parte dos corpos de prova, foi realizado um corte vertical na película até atingir o substrato, paralelo à maior dimensão da chapa, com 80 mm de comprimento e 0,3 mm de largura. Após os ensaios, o avanço de corrosão e degradação, sob o revestimento, na região da incisão, em milímetros, foi calculado pela seguinte equação.

$$A_c = (d - 0,3) \div 2$$

onde:

Ac = avanço de corrosão sob o revestimento/degradação na região da incisão (mm)

d = valor médio (mm) correspondente à largura total do avanço/degradação na região da incisão sob o revestimento por pintura.

Avaliou-se, assim, a propriedade que os revestimentos têm em conter o avanço de corrosão, quando se observa um dano mecânico na pintura, expondo o substrato às condições de agressividade.

Adicionalmente, foram realizados ensaios de aderência por resistência à tração, segundo a norma ASTM D4541 (5) e ensaios de aderência por corte em X (ABNT NBR 11003 (6), método A) e em grade (ISO 2409 (7)), tanto na condição inicial, quanto após os ensaios de desempenho anticorrosivo.

Durante a aplicação dos esquemas de pintura, foi realizado um levantamento de gastos para avaliar quais etapas da aplicação foram mais onerosas em termos de custos. Associado aos preços das diferentes tintas utilizadas, foi possível analisar o quanto a redução de etapas num processo de pintura pode reduzir o custo do esquema de pintura final. Com base no desempenho geral dos esquemas de pintura, e considerando seus custos relativos, obteve-se uma análise da relação entre o custo e o benefício conferido pelos diferentes esquemas de pintura.

## **Resultados e Discussão**

---

### **Tintas de Fundo Pigmentadas com Zinco**

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados dos ensaios eletroquímicos com as tintas de fundo pigmentadas com zinco, respectivamente, nas duas condições investigadas, com 5% de área do substrato exposta e sem exposição de área do substrato, em solução de cloreto de sódio 3,5%.

Para tintas pigmentadas com zinco, as medidas de potencial em solução salina devem apresentar valores próximos a -1000 mV, enquanto houver zinco metálico disponível para proteger o substrato. Na medida em que o zinco vai sendo oxidado, o potencial começa a elevar-se para valores mais anódicos e quando atinge valores em torno de -700 mV, observa-se o aparecimento de corrosão vermelha do substrato. Neste momento, o zinco disponível para proteger o metal base foi consumido. Assim, o desempenho neste ensaio será melhor quanto mais tempo for registrado até o aparecimento de corrosão vermelha e até o valor de potencial atingir o patamar de -700 mV.

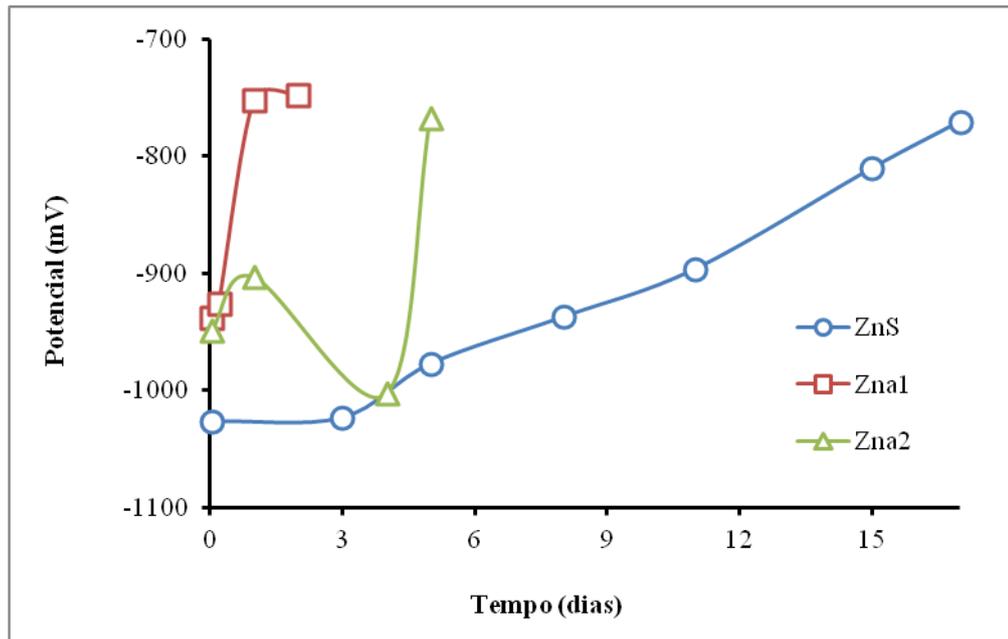


Figura 1 – Medidas de potencial eletroquímico ao longo do tempo, em relação ao eletrodo de referência de calomelano saturado, em ensaio de imersão em solução de cloreto de sódio 3,5%, com 5% de área de substrato exposta.

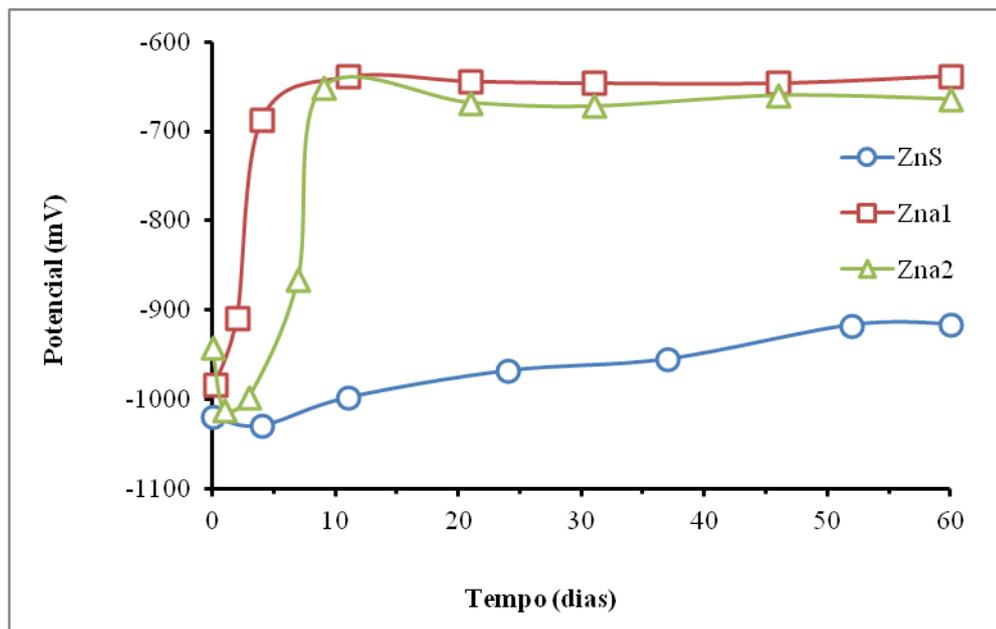
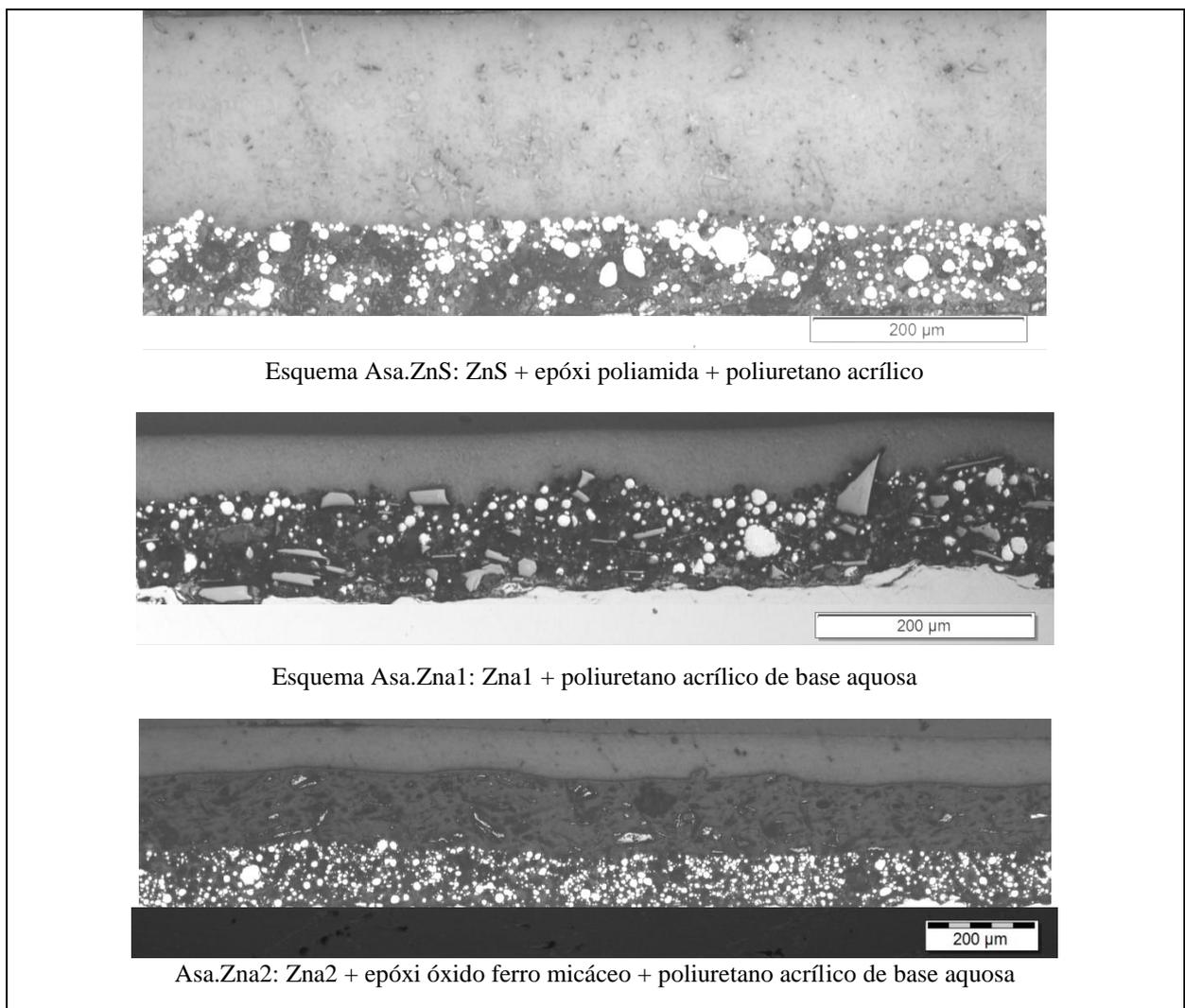


Figura 2 – Medidas de potencial eletroquímico ao longo do tempo, em relação ao eletrodo de referência de calomelano saturado, em ensaio de imersão em solução de cloreto de sódio 3,5%, sem área de substrato exposta.

Pelas Figuras 1 e 2, ambos os ensaios eletroquímicos apresentaram o mesmo resultado comparativo de desempenho entre as tintas, sendo que o melhor desempenho foi observado para a tinta à base de solvente. Entre as tintas de base aquosa, a Zna2 apresentou um desempenho um pouco superior que a Zna1, indicando que a presença do óxido de ferro micáceo na composição de Zna1 pode estar prejudicando a sua proteção galvânica.

Os resultados dos ensaios eletroquímicos devem estar relacionados com o teor de zinco metálico na película seca. Conforme trabalhos de pesquisa anteriores, o teor de zinco metálico na película seca de tintas de fundo ricas em zinco está diretamente relacionado à sua proteção galvânica em ensaios eletroquímicos (8).

Porém o teor de zinco metálico na película seca não é o único parâmetro responsável pelo desempenho eletroquímico. Também já foram investigadas, pela equipe de corrosão do Cepel, outras características de tintas ricas em zinco, como o tipo de resina, a espessura da película e a relação entre a concentração volumétrica de pigmento (CVP) e a concentração volumétrica de pigmento crítica (CVPC), que têm relação com a proteção galvânica da tinta (9). No presente trabalho, destaca-se o efeito adicional da presença do pigmento óxido de ferro micáceo na tinta Zna1, prejudicando o desempenho desta. Este fato ficou comprovado através de ensaios de microscopia ótica, apresentados na Figura 3 (aumento de 200 vezes).



**Figura 3 – Microscopia ótica da seção transversal dos esquemas de pintura (200 X).**

As tintas de fundo nos três esquemas da Figura 3 mostram os pigmentos de zinco em forma arredondada e brilhante, por serem pigmentos metálicos e refletirem a luz do microscópio. O óxido de ferro micáceo é um pigmento que tem a morfologia característica lamelar, o que é

importante para tintas que atuam por mecanismo do tipo barreira, tornando-as mais impermeáveis à passagem de umidade. Essas lamelas ficaram bem evidentes na tinta intermediária do esquema Asa.Zna2 e na tinta Zna1, em que se encontram combinadas com o zinco metálico. Comparando-se as imagens do esquema Asa.Zna1 com o do Asa.ZnS, cuja tinta de fundo somente apresenta o pigmento de zinco, fica claro que a adição do óxido de ferro micáceo, além de diminuir a concentração de zinco na película, prejudicou o contato elétrico entre as partículas de zinco, visto a sua morfologia lamelar situar-se entre os pigmentos de zinco. Assim, justifica-se integralmente o desempenho inferior da tinta Zna1 observado nos ensaios eletroquímicos.

Ou seja, por um lado, a adição do óxido de ferro micáceo na tinta de fundo pigmentada com zinco tem a vantagem de, supostamente, aprimorar suas propriedades de barreira. Mas por outro lado, prejudica o mecanismo de atuação da tinta baseado nos princípios da proteção catódica. Como o desempenho do esquema de pintura dependerá da atuação dos dois tipos de mecanismo, a avaliação de desempenho dos esquemas é importante a ser considerada e seus resultados são apresentados a seguir.

### Desempenho dos Esquemas de Pintura

A Figura 4 apresenta os resultados de avanço de corrosão a partir da incisão, ao final do ensaio cíclico.

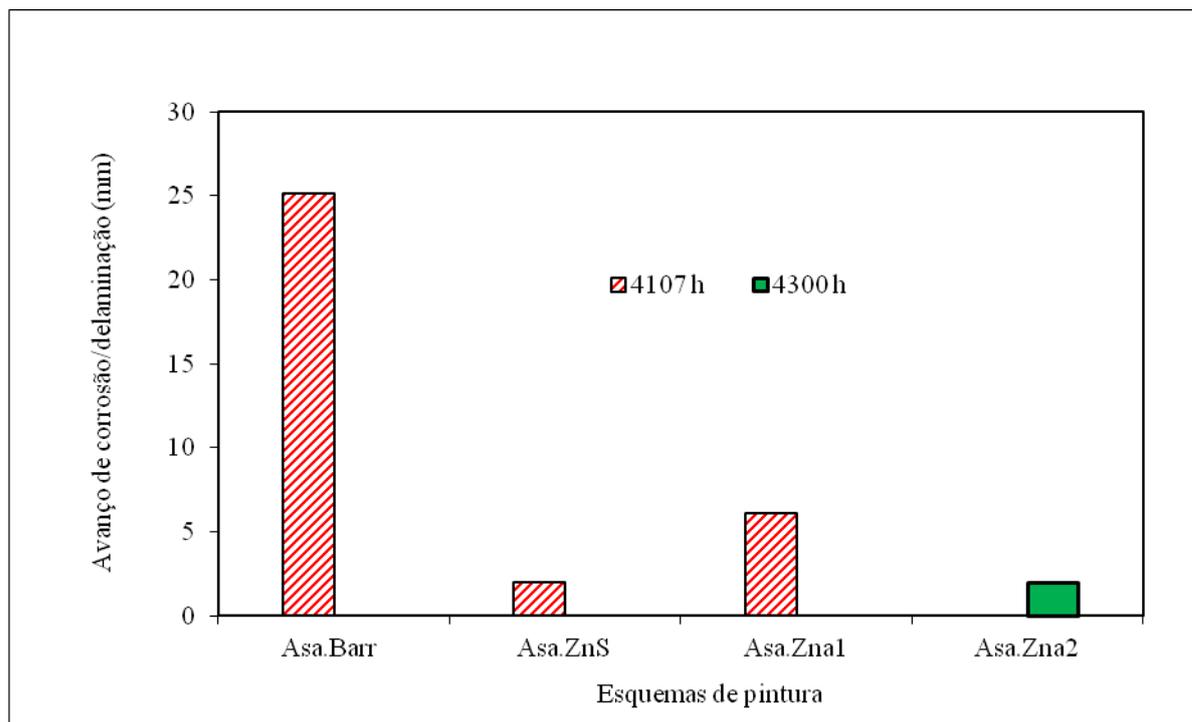


Figura 4 – Resultados de desempenho anticorrosivo nos ensaios cíclicos.

Após os ensaios cíclicos, em nenhum dos esquemas observou-se o aparecimento de corrosão, fendimento ou empolamento, fora da região da incisão. Na região em torno da incisão, observou-se, sobretudo, a formação de corrosão vermelha e, conseqüentemente, avanço de corrosão. Os esquemas Asa.ZnS e Asa.Zna2 apresentaram desempenho equivalente entre si e

superior ao dos esquemas Asa.Zna1 e Asa.Barr. O esquema Asa.Zna1 foi intermediário entre os anteriores e o Asa.Barr, em termos de avanço de corrosão. Este comportamento também foi reproduzido no ensaio na estação de corrosão atmosférica do Cepel, após 2 anos de exposição, considerando-se os esquemas Asa.Barr, Asa.ZnS e Asa.Zna1, o que pode ser observado na Figura 5.



Figura 5 – Aspecto visual dos corpos de prova, após ensaio de 2 anos em exposição natural, conduzido de forma acelerada. AC = avanço de corrosão

A Tabela 2 apresenta os resultados de aderência, na condição inicial, antes da realização dos ensaios acelerados de corrosão.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de aderência referentes à condição inicial.

| Esquema de Pintura | Aderência por resistência à tração ASTM D4541 (5) |                   | Aderência por corte em X NBR 11003 A (6) | Aderência por corte em grade ISO 2409 (7) |
|--------------------|---|-------------------|--|---|
|                    | Tensão de ruptura (MPa)                           | Natureza da Falha |  |   |
| Asa.Barr           | 23,5  | C                 | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 0                                      |
| Asa.ZnS            | 8,9   | B                 | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 0                                      |
| Asa.Zna1           | 9,7   | B                 | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 0                                      |
| Asa.Zna2           | 9,2   | B                 | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 1                                      |

Pela Tabela 2, observam-se bons resultados de aderência inicial para todos os esquemas de pintura. Os valores de tensão de ruptura e natureza de falha são característicos dos tipos de revestimentos estudados e já foram observados em trabalhos anteriores do Cepel (10-12). Em nenhum dos casos, observou-se falha entre o substrato e o revestimento. Nos ensaios de corte em X e em grade, obtiveram-se graus satisfatórios na classificação para todos os esquemas de pintura, não sendo observadas falhas de aderência importantes. O resultado Gr 1 no esquema Asa.Zna2 foi associado à falha coesiva B.

Após os ensaios de desempenho anticorrosivo, foram realizados os mesmos ensaios de aderência. Os resultados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 – Resultados de aderência após ensaio cíclico.**

| Esquema de Pintura | Aderência por resistência à tração ASTM D4541 (5) |                         | Aderência por corte em X NBR 11003 A (6) | Aderência por corte em grade ISO 2409 (7) |
|--------------------|---|-------------------------|--|---|
|                    | Tensão de ruptura (MPa)                           | Natureza da Falha       |  |   |
| Asa.Barr           | 34,8  | 50% C<br>20% B<br>30% Y | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 0                                      |
| Asa.ZnS            | 8,0   | B                       | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 0                                      |
| Asa.Zna1           | (*)   | A/B                     | X <sub>3</sub> Y <sub>3</sub>            | Gr 4                                      |
| Asa.Zna2           | 21,3  | 25% B<br>75% Y          | X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>            | Gr 1                                      |

(\*) Não foi possível medir, o carretel perdeu a aderência com baixíssima tensão de ruptura.

Após o ensaio cíclico, a maioria dos esquemas de pintura apresentou resultados de aderência com poucas diferenças em relação à condição inicial, sendo estes considerados bons resultados. A exceção foi observada para o esquema de base aquosa, Asa.Zna1. Neste caso, houve uma perda significativa de aderência, inclusive com falha entre o substrato e o revestimento. Isto indica que este esquema de pintura de base aquosa tem uma resistência inferior aos demais, quanto às condições de agressividade do ensaio cíclico, o que ocasionou a deterioração mais acentuada de sua película, a ponto de resultar em perda considerável de aderência. Porém, este resultado não foi observado com o esquema de pintura Asa.Zna2 de base aquosa, após 4300 h de ensaio cíclico. Portanto, o desempenho inferior do esquema Asa.Zna1 pode estar associado a ausência de uma tinta intermediária, que prejudicou sua propriedade de barreira, facilitando a permeação de eletrólito através do revestimento durante os ensaios cíclicos e ocasionando perda de aderência. Este resultado foi reproduzido qualitativamente, após 2 anos de exposição na estação de corrosão atmosférica do Cepel (Tabela 4). Novamente, o esquema Asa.Zna1, apresentou baixa tensão de ruptura e falha de natureza adesiva, entre o substrato e o revestimento, distintamente dos demais, que mantiveram suas propriedades de aderência similares as da condição inicial. O esquema Asa.Zna2 não foi submetido ao ensaio na estação de corrosão, porém, como seu resultado no ensaio cíclico foi equivalente ao esquema à base de solvente (Asa.ZnS), espera-se comportamento semelhante numa condição de exposição natural.

**Tabela 4 – Resultados de aderência após 2 anos de exposição atmosférica no Cepel.**

| Esquema de Pintura | Aderência por resistência à tração ASTM D4541 (5) |                   |
|--------------------|---|-------------------|
|                    | Tensão de ruptura (MPa)                           | Natureza da Falha |
| Asa.Barr           | 31,0  | 50% C<br>50% Y    |
| Asa.ZnS            | 8,6   | B                 |
| Asa.Zna1           | 2,2   | A/B               |

### Análise de Gastos e Custos na Preparação dos Esquemas de Pintura

Durante a preparação dos corpos de prova, foram registrados os tempos gastos para a realização das seguintes etapas:

- tratamento de superfície;
- preparação das tintas;
- aplicação das tintas;

O gasto de tempo total ( $G_T$ ) de cada esquema de pintura foi calculado pela seguinte equação.

$$G_T = G_{TS} + G_{PE} + G_{AE}$$

Onde:

$G_T$  é o gasto total de tempo para aplicar o esquema de pintura, em  $h/m^2$ ;

$G_{TS}$  é o gasto de tempo na etapa de tratamento de superfície, em  $h/m^2$ ;

$G_{PE}$  é o gasto de tempo na etapa de preparação das tintas do esquema de pintura, em  $h/m^2$ ;

$G_{AE}$  é o gasto de tempo na etapa de aplicação das tintas do esquema de pintura, em  $h/m^2$ .

A Figura 6 apresenta os tempos gastos durante as etapas de preparação dos esquemas de pintura, que somadas resultam no gasto total de tempo.

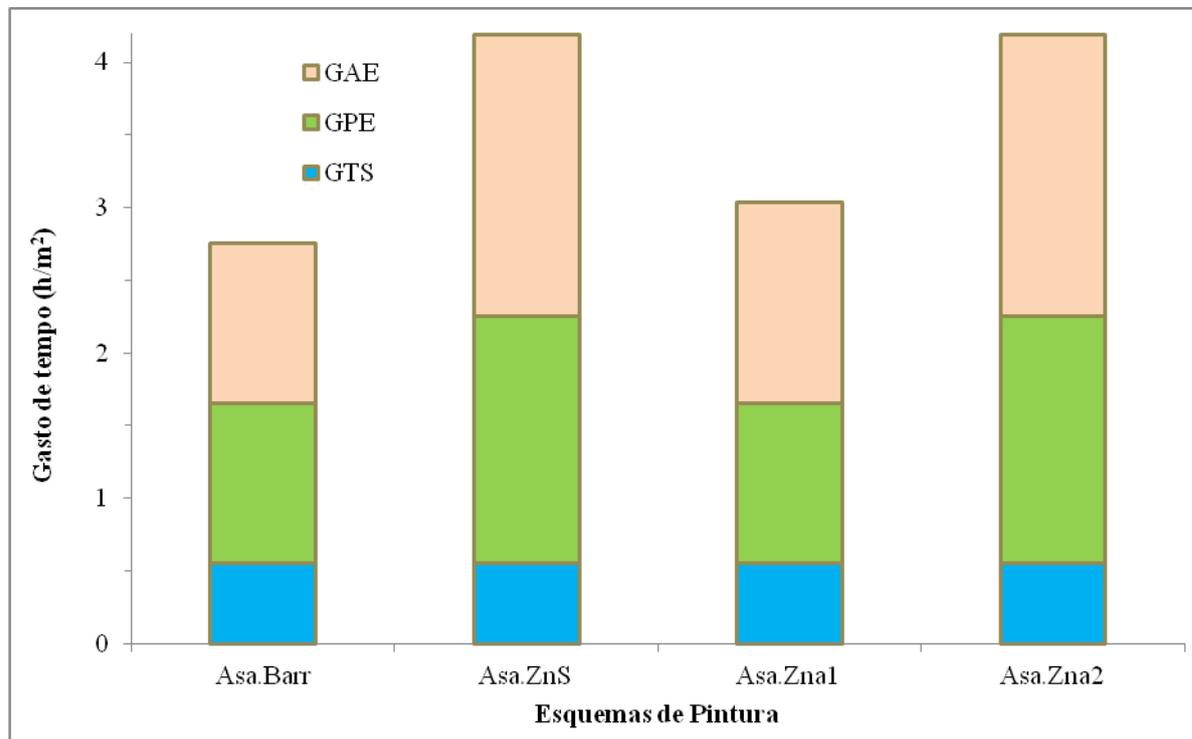


Figura 6 – Resultados de gasto de tempo na elaboração dos esquemas de pintura.

Observa-se que os esquemas que consomem o maior tempo de preparação são aqueles que têm um maior número de demãos aplicadas. Os esquemas Asa.ZnS e Asa.Zna2 foram aplicados em 3 demãos de tintas e os esquemas Asa.Barr e Asa.Zna1, em 2 demãos. Durante a

etapa de aplicação das tintas, os esquemas que têm tintas de fundo pigmentadas com zinco (Asa.ZnS, Asa.Zna1 e Asa.Zna2) gastaram tempo a mais na aplicação da segunda demão, porque se fez necessário realizar o *mist coat*. Este procedimento consiste em aplicar uma demão bem fina da tinta subsequente, apenas para selar a superfície da tinta de fundo e após curto tempo de secagem, aplicar a demão na espessura especificada. É um recurso utilizado para evitar a formação de pequenas bolhas na tinta da segunda demão, durante a sua secagem, tipicamente observado quando se emprega uma tinta impermeável sobre uma tinta porosa (como é o caso das tintas pigmentadas com zinco). Observou-se experimentalmente que o *mist coat* aumentava o tempo de aplicação da segunda demão em 50%.

Os resultados apresentados são úteis para se realizar uma avaliação de produtividade dos diferentes esquemas de pintura aplicados. Considerando-se o gasto total de tempo para elaboração dos esquemas de pintura, os esquemas Asa.ZnS e Asa.Zna2 ocuparam igualmente a primeira posição, em termos de mais baixa produtividade, por apresentarem 3 demãos de tinta e a realização de *mist coat*. Com uma demão a menos, ganhou-se em produtividade nos esquemas Asa.Barr e Asa.Zna1, sendo que o valor de gasto total de tempo no primeiro caso foi levemente menor que no segundo, pois no primeiro não houve o procedimento de *mist coat*.

Para se calcular o custo de elaboração dos esquemas de pintura, com base no consumo de mão de obra, multiplica-se o valor do tempo para aplicar a pintura em 1 m<sup>2</sup> pelo valor de Homem-Hora (HH), em R\$/h. Deve-se levar em conta que o custo total do esquema de pintura apresenta outra parcela importante a ser considerada, que é o custo das tintas utilizadas. Para o cálculo do custo total do esquema de pintura ( $C_{EP}$ ) tal parcela deve ser somada com o custo de mão de obra devido à aplicação do esquema de pintura, expresso pela seguinte equação.

$$C_{EP} = C_T + C_{MO}$$

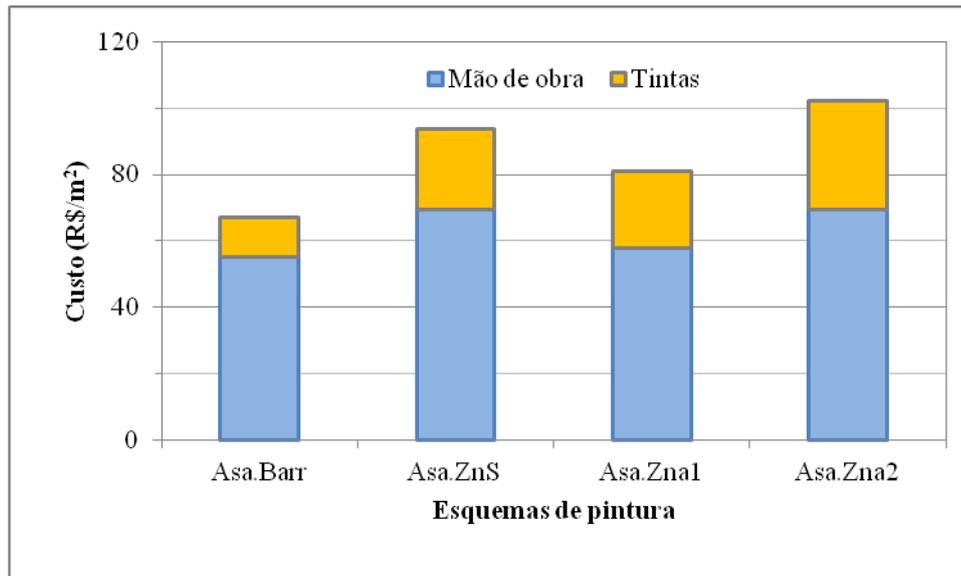
Onde:

$C_{EP}$  é o custo do esquema de pintura, em R\$/m<sup>2</sup>;

$C_T$  é a soma dos custos das tintas utilizadas para aplicar o esquema de pintura, em R\$/m<sup>2</sup>;

$C_{MO}$  é o custo de mão de obra para aplicar o esquema de pintura, em R\$/m<sup>2</sup>.

O custo das tintas e dos esquemas de pintura foram calculados com base em informações obtidas junto ao fabricante, a partir dos preços das tintas e do rendimento teórico citado nos boletins técnicos. Foram assumidos valores de HH para as etapas de preparação dos esquemas de pintura, com base em dados de mercado. As informações foram obtidas no primeiro semestre de 2017. O objetivo em quantificar estes valores, HH e preços das tintas, foi ilustrar a metodologia para cálculo dos custos associados aos serviços de pintura anticorrosiva. Os resultados estão na Figura 7.



**Figura 7 – Parcelas de custo e custo total dos esquemas de pintura.**

O esquema Asa.Barr tem o menor custo de mão de obra e de tintas. Os esquemas com tintas de fundo pigmentadas com zinco têm maior custo que o esquema por barreira, visto que as tintas são de tecnologia com maior preço e em função da maior necessidade de mão de obra para aplicar este tipo de tinta. Comparando-se os três esquemas com tintas de fundo pigmentadas com zinco, o Asa.Zna1 tem a vantagem de ser aplicado com uma demão a menos e por isso, reduz-se o custo de mão de obra e de tintas. Comparando-se os outros dois entre si, o que eleva o custo do esquema Asa.Zna2 é a tecnologia de tintas, que tem preço mais elevado.

### **Avaliação da Relação entre Custo e Benefício**

O objetivo desta análise é verificar quais as vantagens na seleção entre os esquemas de pintura investigados, com base em seus custos e no benefício obtido. Este é expresso pelo desempenho anticorrosivo dos esquemas de pintura. Em cada ensaio, atribuiu-se pontos aos esquemas de pintura, conforme seu desempenho. Na Tabela 5, são descritos o sistema de pontos e sua interpretação.

**Tabela 5 – Pontuação de desempenho de esquemas de pintura em ensaios.**

| Pontos | Interpretação   |
|--------|---|
| 0      | O esquema de pintura apresentou desempenho inferior.      |
| 1      | O esquema de pintura apresentou desempenho intermediário. |
| 2      | O esquema de pintura apresentou desempenho superior.      |

Como cada ensaio tem parâmetros diferentes para avaliação de desempenho, a utilização deste sistema de pontuação é uma forma de padronizar a classificação de desempenho de cada esquema. Os pontos obtidos nos ensaios foram somados, possibilitando estabelecer uma avaliação de benefício entre os diferentes esquemas de pintura, e calculou-se uma porcentagem para avaliação de desempenho, uma vez que nem todos os esquemas foram avaliados em todos os ensaios. Os resultados são apresentados na Tabela 6. Na Figura 8 são

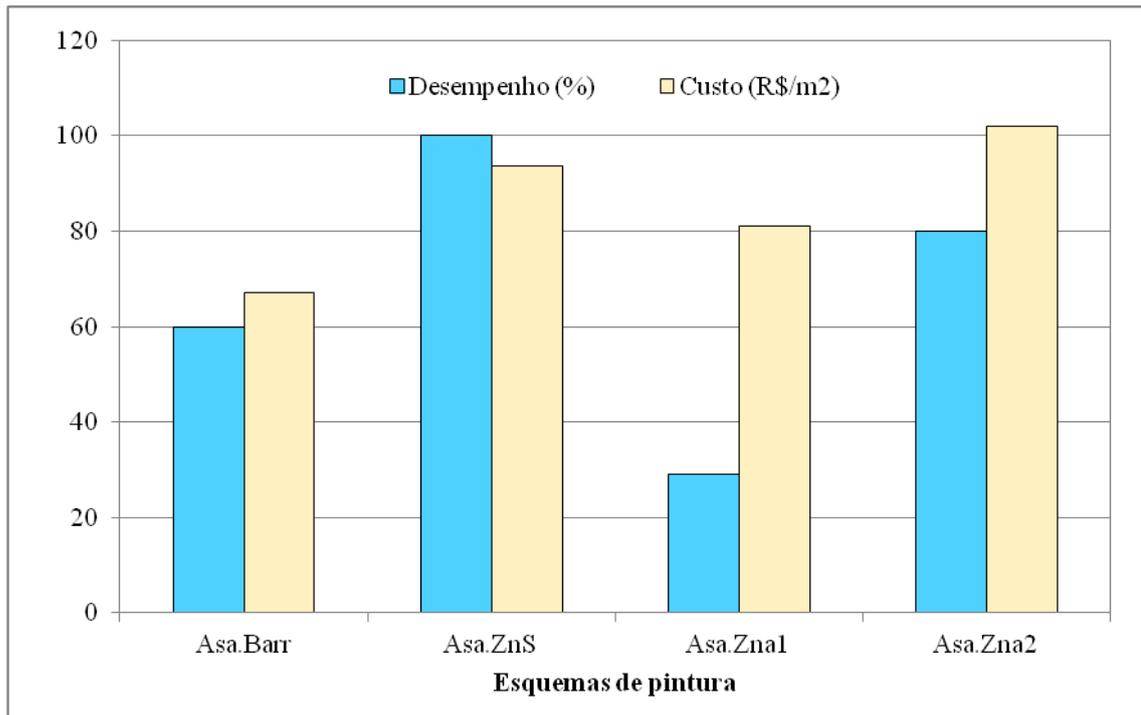
apresentados, em forma gráfica, os resultados da avaliação de benefício em conjunto com o custo dos esquemas de pintura.

**Tabela 6 – Pontuação de desempenho para os esquemas de pintura por ensaio.**

| Ensaio  | Pontos dos esquemas |         |          |          |
|---|---------------------|---------|----------|----------|
|   | Asa.Barr            | Asa.ZnS | Asa.Zna1 | Asa.Zna2 |
| Potencial vs. tempo com 5% de área de substrato exposta   | -                   | 2       | 0        | 1        |
| Potencial vs. tempo sem área de substrato exposta         | -                   | 2       | 0        | 1        |
| Ensaio de cíclico - avanço de corrosão                    | 0                   | 2       | 1        | 2        |
| Exposição natural, 2 anos – avanço de corrosão            | 0                   | 2       | 1        | -        |
| Aderência inicial   | 2                   | 2       | 2        | 2        |
| Aderência após ensaio cíclico                             | 2                   | 2       | 0        | 2        |
| Aderência após ensaio natural                             | 2                   | 2       | 0        | -        |
| Total de pontos   | 6/10                | 14/14   | 4/14     | 8/10     |
| Avaliação de benefício ou classificação de desempenho (%) | 60                  | 100     | 29       | 80       |

Comparando-se os esquemas com tintas de fundo pigmentadas com zinco, Asa.ZnS, Asa.Zna1 e Asa.Zna2, o melhor desempenho foi observado para o Asa.ZnS, a base de solvente, que é o esquema tradicional utilizado na proteção de estruturas do setor elétrico, expostas a condição de elevada agressividade. Em todos os ensaios avaliados, seu desempenho foi máximo e seu custo, intermediário dentre os esquemas com tinta de fundo pigmentada com zinco. O menor custo entre estes três foi para o esquema Asa.Zna1, com uma demão a menos e a tinta de fundo também pigmentada com óxido de ferro micáceo. Como verificado pelos ensaios, este pigmento prejudica a atuação de proteção catódica do zinco, impedindo o contato elétrico entre as partículas do pigmento anticorrosivo e o substrato. Este fato corrobora os maiores valores de avanço de corrosão a partir da incisão, em relação aos outros dois esquemas mencionados. Também nos ensaios de aderência, o esquema apresentou desempenho inferior, mostrando que a tinta intermediária é importante neste tipo de esquema, para ampliar sua propriedade de barreira e retardar a degradação da película. Por tudo isso, apesar do esquema ser o mais econômico, seu desempenho deixou muito a desejar, e para condições de elevada agressividade, recomenda-se que sejam aplicados os demais esquemas com tinta de fundo pigmentada com zinco.

Já o esquema de base aquosa com três demãos, Asa.Zna2, apresentou um desempenho superior ao Asa.Zna1 e equivalente, em termos de avanço de corrosão e de aderência, à versão a base de solvente, Asa.ZnS. Pode-se aperfeiçoar o desempenho do primeiro por um maior incremento do teor de zinco metálico na película seca da tinta de fundo, o que aprimoraria o seu desempenho nos ensaios eletroquímicos. O custo deste esquema foi apenas 9% superior ao esquema tradicional, à base de solvente, o que o torna bastante competitivo, considerando ainda a tendência de mercado para o uso de tecnologias ecologicamente mais amigáveis.



**Figura 8 – Avaliação de desempenho e custo dos esquemas de pintura.**

## Conclusões

Este artigo apresenta um trabalho de pesquisa experimental de 2 anos, no qual foi possível avaliar o desempenho de diferentes tecnologias de pintura anticorrosiva, com aplicação no setor elétrico para a proteção de estruturas metálicas e equipamentos, submetidos a diversas condições de agressividade.

Complementarmente à avaliação de desempenho, utilizou-se uma metodologia de estimativa de custos para os esquemas de pintura investigados, desenvolvida pela equipe de corrosão do Cepel, que permite a avaliação de custos para serviços de pintura a serem realizados pelas empresas Eletrobras, tanto em fase de projeto, quanto durante a manutenção. Esta metodologia é útil ao setor elétrico na tomada de decisão sobre custos envolvidos nas diferentes etapas da pintura industrial.

O trabalho mostrou que os custos não devem ser tomados isoladamente, devendo-se considerar também o desempenho. Às vezes, um menor custo pode significar um baixo desempenho anticorrosivo e por isso, a experiência técnica com a pesquisa sobre as diferentes tecnologias de pintura anticorrosiva deve ser levada em conta na escolha dos esquemas de pintura.

Para ambientes de elevada agressividade, indica-se o uso de esquemas de pintura contendo tinta de fundo pigmentada com zinco, que numa área de falha do revestimento, durante sua condição de operação, os pigmentos ativos de zinco protegem o substrato, impedindo o avanço de corrosão sob a pintura. Tecnologias de base aquosa podem vir a substituir satisfatoriamente as tradicionais, à base de solventes, em termos de desempenho

anticorrosivo, desde que sejam produzidas com teores de zinco metálico tão elevados quanto os utilizados nas tecnologias tradicionais. É possível ter custos competitivos entre os dois tipos de esquemas.

Quanto à ausência de uma demão de tinta intermediária, os resultados mostraram que, assim, o custo do esquema de pintura é bem reduzido, porém perde-se muito em desempenho. Dessa forma, é recomendável manter a tinta intermediária para aumentar a propriedade de barreira do esquema de pintura, sobretudo por se tratarem de esquemas que estarão em condições de elevada agressividade. A economia que se faz eliminando a demão intermediária não vale a pena, pois o fraco desempenho final do revestimento exigirá manutenção em menor tempo de vida útil.

### Referências Bibliográficas

---

- (1) 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.*
- (2) ASTM D4417 – *Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel.*
- (3) ASTM B117 – *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.*
- (4) C. B. Reis; E. V. Bendinelli; A. P. Ordine; C. C. Amorim; Y. H. P. Café. “Análise crítica do ensaio de perda de massa para classificação do grau de agressividade atmosférica”. 6<sup>th</sup> International Corrosion Meeting - INTERCORR 2016, Búzios – RJ, 2016.
- (5) ASTM D4541 – *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.*
- (6) ABNT NBR 11003 – Tintas — Determinação da Aderência.
- (7) ISO 2409 – *Paints and Varnishes — Cross-cut Test.*
- (8) F. L. Fragata; A. P. Ordine. “Avaliação Anticorrosiva de Tintas de Fundo Ricas em Zinco, Monocomponente, com Resina de Poliisocianato”. 2<sup>nd</sup> International Corrosion Meeting – INTERCORR 2008, Recife – PE, 2008.
- (9) A. P. Ordine; F. L. Fragata. “Estudo eletroquímico de tintas de fundo pigmentadas com zinco”. *Corrosão e proteção*, v. 39, p. 30-33, 2011.
- (10) F. L. Fragata; A. P. Ordine; C. C. Amorim; O. Ferraz. “Ensaio de Aderência de Esquemas de Pintura pelo Método de Tração (Pull-off) - Avaliação de Fatores que Influenciam os Resultados”. *Corrosão e Protecção de Materiais*, v. 27, p. 122-129, 2008.

(11) F. L. Fragata; A. P. Ordine; C. C. Amorim. “Ensaio de Aderência em Tintas e Esquemas de Pintura Pelo Método de Resistência à Tração - Valores de Tensão de Ruptura, Tipos de Falha e Comentários Técnicos”. 4th International Corrosion Meeting – INTERCORR 2012, Salvador – BA, 2012.

(12) F. L. Fragata; A. P. Ordine; J. R. Xavier; M. M. Sá. “Ensaio de aderência em esquemas de pintura pelo método de resistência à tração – resultados obtidos com os equipamentos Patti® e Positest® automático”. 12ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos – Coteq 2013, Porto de Galinhas – PE, 2013.