

Copyright 2008, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.

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

Pré-tratamento para pintura do aço-carbono zincado por imersão a quente
Gislaine M. Bragagnolo¹, Jean V. Ferrari², Mário Carlos Andreoli³, Fernando de L. Fragata⁴,
Márcio Bispo de Almeida⁵, Zehbour Panossian⁶

Abstract

The batch galvanizing process (BGP) can lead to surface contamination of hot-dip galvanized steel (HDGS) with chloride residues. This contamination occurs due to the use of chloride based compounds in several steps of galvanizing processes. The causes of many premature failures of paint applied on HDGS have been attributed to the presence of these residues at the zinc/paint interface, even after submitting the surface of the zinc to a pre-treatment before painting. Therefore, a suitable selection of pre-treatments that are able to remove all chloride contaminations from the HDGS surface is of fundamental importance. The goal of the present paper was to select those pre-treatments in order to obtain a good paint performance. Accelerated and nonaccelerated corrosion tests were performed with HDGS plates with different degrees of chloride contaminations and submitted to different pre-treatments for painting. After each pre-treatment, the zinc surface was characterized in order to verify the degree of cleanness. The results of the corrosion tests were then correlated with the degree of cleanness. Those pre-treatments that presented the best chloride-removing properties and, consequently, determined the best paint performances, were selected.

Keywords: hot-dip galvanized steel; batch galvanizing process; soluble salts; chromate quenching; paint performance; surface preparation for painting.

Resumo

O processo industrial não-contínuo de zincagem por imersão a quente (ZIQ) pode ocasionar a contaminação superficial do aço zincado por imersão a quente (AZIQ) com resíduos de cloreto. Esta contaminação decorre do uso de compostos contendo cloreto em diversas etapas da linha de ZIQ. As causas de muitas falhas prematuras de tintas sobre o AZIQ têm sido

1 Mestre em Físico-química pelo Instituto de Química da USP e pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (e-mail: gbraga@ipt.br)

2 Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e aluno de doutorado (e-mail: jean@ferrari@usp.br).

3 Engenheiro, CETEEP - OMM - Divisão de Gestão da Manutenção (e-mail: mandreoli@ctEEP.com.br)

4 Engenheiro Químico, Pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) – Rio de Janeiro (e-mail: fragata@cepel.br)

5 Técnico em metalurgia – Técnico do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – (IPT)

6 Doutora em Ciências, Chefe do Agrupamento de Corrosão e Proteção (ACEP) no IPT, Professora convidada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) (e-mail: zep@ipt.br)

atribuídas à presença destes resíduos na interface zinco/tinta, mesmo após submeter a superfície do zinco a algum pré-tratamento para pintura. Assim sendo, é de fundamental importância que o pré-tratamento a que o AZIQ é submetido, seja capaz de retirar da sua superfície toda e qualquer contaminação de cloretos. No presente trabalho, ensaios acelerados e não-acelerados de corrosão foram realizados com vários lotes de chapas de aço zincado com diferentes graus de contaminação com cloretos, submetidos a vários tipos de pré-tratamento e pintados. Após cada pré-tratamento, a superfície das chapas foi caracterizada quanto ao nível residual de contaminação. Os resultados dos ensaios de desempenho foram então correlacionados com o grau de limpeza obtido com cada pré-tratamento, tendo sido identificados aqueles que efetivamente eliminam os sais de cloreto e, conseqüentemente, levam a um melhor desempenho dos sistemas dúplex.

Palavras-chave: aço-carbono zincado por imersão a quente; processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente; sais solúveis; cromatização; desempenho de tintas; pré-tratamentos para pintura.

Introdução

O aço-carbono e o ferro fundido são dois dos materiais estruturais mais utilizados na engenharia devido às suas excelentes propriedades mecânicas. No entanto, raramente podem ser utilizados sem um sistema de proteção contra a corrosão. Neste sentido, a utilização do aço-carbono zincado por imersão a quente (AZIQ) como componente de estruturas instaladas em campo é bastante consagrada em virtude do seu excelente desempenho contra a corrosão, resultante do longo período de proteção catódica e por barreira conferida pelo revestimento de zinco ao aço-carbono.

Entretanto, em algumas atmosferas, o desempenho contra a corrosão do AZIQ não é satisfatório devido à presença de alguns compostos em altas concentrações, principalmente dos íons cloreto (Cl^-) e de alguns gases poluentes como dióxido de enxofre (SO_2), os quais reduzem significativamente o tempo de vida útil do AZIQ. Normalmente, em condições de exposição de estruturas de AZIQ próximas às indústrias e regiões costeiras, para uma proteção mais eficaz do aço-carbono, além da aplicação do revestimento de zinco, é necessária a aplicação de revestimentos orgânicos, como tintas. Este sistema de proteção de aço-carbono (zincagem mais pintura), mais conhecido como sistema dúplex, possui um efeito sinérgico de proteção e é bastante utilizado nas atmosferas de exposição citadas.

Em trabalhos anteriores (1,2), verificou-se que o processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente (ZIQ) pode ocasionar a contaminação superficial do AZIQ com resíduos de cloreto devido à contaminação do ambiente industrial com cloretos. Esta contaminação é decorrente da etapa da decapagem em ácido clorídrico, do uso do fluxo a base de sal duplo de cloreto de zinco e amônio e do uso de cloreto de amônio na saída das peças do tanque de zinco fundido. Nestes trabalhos, foi verificado, também, que tais resíduos comprometem significativamente o desempenho dos sistemas dúplex.

Acredita-se que uma das soluções do problema colocado seja a adoção de um pré-tratamento para pintura capaz de eliminar os resíduos de cloreto.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo a verificação da eficiência de limpeza de diferentes pré-tratamentos para pintura do AZIQ. Para alcançar este objetivo, partiu-se de lotes de chapas de AZIQ com diferentes graus de contaminação com íons cloreto, alguns

cromatizados e outros não. Tais chapas foram submetidas a vários tipos de pré-tratamento e em seguida as superfícies tratadas foram caracterizadas para verificação da eficiência da limpeza adotada. Para poder correlacionar o grau de limpeza proporcionado pelos diferentes pré-tratamentos com o desempenho dos sistemas dúplex, foram preparados corpos-de-prova pré-tratados e pintados, os quais foram submetidos a ensaios acelerados e não-acelerados de corrosão. Cabe citar que a cromatização foi incluída neste estudo, pois, na literatura há dúvidas sobre a influência da cromatização no desempenho dos sistemas dúplex. Neste sentido, tanto os prestadores de serviço de zincagem e de pintura como os consumidores diretos não possuem senso comum devido às diferentes experiências vivenciadas na pintura do AZIQ. Assim, muitas das informações obtidas são baseadas em experiências cotidianas. Como exemplo a ser citado, tem-se a norma ASTM D 6386 (3) que aborda o preparo da superfície do AZIQ para pintura. Esta norma não recomenda a pintura do AZIQ cromatizado, obtido em processo não-contínuo, com base em experiências obtidas no mercado (2).

Metodologia e Resultados

1. Substrato de AZIQ: obtenção e caracterização

Objetivando obter chapas de AZIQ com diferentes níveis de contaminação superficial, foram preparados quatro lotes (que posteriormente foram pré-tratados), em diferentes condições como mostrado a seguir.

- **Lote I:** uso de cloreto de amônio na saída das chapas do tanque de zinco fundido e cromatização num banho cromatizante recém-preparado (banho este que, a princípio, apresentaria contaminação mínima de cloretos);
- **Lote II:** sem o uso de cloreto de amônio e sem cromatização;
- **Lote III:** sem o uso de cloreto de amônio e cromatização num banho cromatizante que foi bastante utilizado (banho este no qual a contaminação com cloreto deveria ser bem maior em relação ao banho recém-preparado);
- **Lote IV:** sem o uso de cloreto de amônio e cromatização num banho cromatizante recém-preparado (banho este que, a princípio, apresentaria contaminação mínima de cloretos).

Para se certificar que os quatro lotes apresentavam de fato diferentes níveis de contaminação, as superfícies de amostras de cada lote foram submetidas a análise semiquantitativa por EDS (dispersão de energia) com auxílio de um MEV (microscópio eletrônico de varredura), a análise qualitativa para a verificação da presença de camada cromatizada e análise quantitativa para a determinação da massa de íons cloreto por unidade de área. A descrição detalhada destas análises, incluindo os resultados obtidos, está apresentada no trabalho nº 69 deste Congresso. De maneira resumida, os resultados obtidos foram:

- **Lote I:** 0,11% de cromo⁷ e 5,6 µg/cm² de cloreto⁸;
- **Lote II:** cromo não detectado e 2,1 µg/cm² de cloreto⁸;
- **Lote III:** 0,23% de cromo⁷ e 13,4 µg/cm² de cloreto⁸;
- **Lote IV:** traços de cromo⁷ e 1,7 µg/cm² de cloreto⁸.

Esses resultados mostram que de fato foi possível obter lotes com diferentes níveis de contaminação.

⁷ Análise semiquantitativa por EDS.

⁸ Análise quantitativa descrita no trabalho nº 69 deste Congresso.

Para caracterizar o revestimento de zinco, primeiramente foi realizado um exame metalográfico da seção transversal de uma das amostras do Lote I. Esta seção foi observada através de um microscópio óptico da marca LEICA, modelo DMR acoplado a uma Câmera da marca LEICA, modelo DC 200. Foi verificada a presença das fases gama, delta, zeta e eta, típicas de revestimentos de zinco obtidos pelo processo não-contínuo de imersão a quente.

A aderência da camada de zinco foi verificada em triplicata para os quatro lotes de chapas de AZIQ obtidos, segundo o método de martelo basculante descrito na norma NBR 7398 (4). As três chapas dos quatro diferentes lotes de AZIQ apresentaram uma aderência satisfatória.

A espessura do revestimento de zinco foi determinada pelo método de atenuação do campo magnético utilizando um medidor de espessura da marca HELMUT FISCHER GMBH calibrado para padrão de medição, modelo DUALSCOPE MP40. Em cada face das chapas de cada lote, foram feitas medidas em seis pontos delimitados por uma máscara. Em cada um destes pontos, foram realizadas três medidas e as médias destas foram consideradas como uma média local. Em geral, as médias locais das medidas de espessura variaram entre 100 μm a 150 μm para as chapas dos Lotes I, III e IV e entre 50 μm a 60 μm para as chapas do Lote II.

A uniformidade da camada de zinco foi verificada segundo o procedimento descrito na norma NBR 7400 (5). Este método é utilizado para detectar regiões onde o revestimento de zinco é menos espesso ou onde há falhas no revestimento. Os resultados obtidos mostraram que as chapas de AZIQ dos quatro lotes produzidos apresentaram uniformidade satisfatória do revestimento de zinco.

2. Pré-tratamentos para pintura

No total, quatro tipos de pré-tratamentos para pintura foram adotados para o preparo das chapas de AZIQ dos quatro lotes. Após estes pré-tratamentos a tinta de aderência foi aplicada imediatamente. A Tabela 1 apresenta a descrição sucinta destes pré-tratamentos e a nomenclatura utilizada para identificá-los, que também foi utilizado para identificar os diferentes esquemas de pintura deste trabalho. Da Tabela 1, verifica-se que além dos quatro pré-tratamentos, as tintas utilizadas neste trabalho também foram aplicadas sobre as chapas de AZIQ dos quatro lotes que foram limpas somente com o mesmo solvente orgânico utilizado para diluir as tintas. Estas chapas foram identificadas como branco. Nestas chapas-referência, pretendia-se aplicar as tintas diretamente, sem execução de qualquer procedimento, no entanto, como na superfície das chapas havia muita sujidade (como resíduo de terra), foi necessário executar a limpeza das mesmas com solvente orgânico para a remoção destas.

A descrição detalhada de cada um dos pré-tratamentos listados na Tabela 1 (exceto para o branco que já foi mencionado), é dada nos itens a seguir.

2.1.1. Desengraxante alcalino aquoso

Sobre as superfícies das chapas de AZIQ, com auxílio de um borrifador, aspergiu-se uma solução desengraxante aquosa à base de hidróxido de potássio e surfactantes, até a produção de uma camada fina e uniforme. Deixou-se o desengraxante em contato com a superfície das chapas por cinco minutos. Em seguida, sob água corrente, lavou-se por três vezes as superfícies das chapas, seguido de uma lavagem final com água destilada e secagem com ar à temperatura ambiente.

2.1.2. Lavagem com água (isenta de areia) a alta pressão – hidrojateamento

A lavagem com água (de abastecimento) a alta pressão foi realizada utilizando-se pressão de cerca de 10 MPa (100 bar), com lavadores de alta pressão da marca LAVOR, modelo PTPROF e da marca KARCHER, modelo HD1200 TURBO K3. Evitou-se direcionar por muito tempo o bico da pistola da lavadora num mesmo ponto. A limpeza foi executada de forma contínua, sem repasses. A distância entre a pistola da lavadora e as chapas foi de cerca de 15 cm. A Figura 1 mostra a execução deste pré-tratamento nas chapas de AZIQ.

2.1.3. Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente (60°C)

As chapas de AZIQ foram lavadas com água destilada quente (60°C) – grau analítico tipo 3, segundo a norma ISO 3696 (6) – com o auxílio do lado abrasivo de uma esponja de utilização doméstica, fazendo-se manualmente, movimentos circulares por toda sua superfície. Os movimentos circulares varreram as superfícies das chapas por cinco vezes. A esponja utilizada é ilustrada na Figura 2, sendo que a parte mais abrasiva (verde) foi utilizada no pré-tratamento, conforme já mencionado.

2.1.4. Lixamento mecânico manual

Com o auxílio de uma esmerilhadeira mecânica, lixou-se (com disco de lixa de fibra em lamelas para metal curvado, com granulometria 80) a superfície das chapas de AZIQ. Procurou-se evitar um longo contato do disco de lixa com a superfície do AZIQ, com o objetivo de não remover a camada de zinco. A Figura 3 mostra o disco de lixa e a esmerilhadeira utilizados.

2.2. Caracterização da superfície do AZIQ após os pré-tratamentos para pintura

2.2.1 Aspecto das chapas após os pré-tratamentos de pintura

A Figura 4 mostra o aspecto geral das chapas de AZIQ dos quatro lotes, antes (branco) e após a realização dos pré-tratamentos. Como o aspecto visual das chapas dos quatro lotes, submetidas a cada pré-tratamento mostrado na Tabela 1, era semelhante, é apresentado apenas o aspecto de uma chapa representativa de cada pré-tratamento.

Observando essa Figura, verificam-se mudanças do aspecto visual apenas das chapas que foram submetidas à ação mecânica com esponja abrasiva e água quente (Lotes I a IV – **S**) e ao lixamento mecânico manual (Lotes I a IV – **L**). Devido à ação abrasiva, estes tratamentos proporcionaram maior brilho à superfície das chapas.

Para uma observação mais detalhada da superfície do AZIQ, foram obtidas imagens de elétrons secundários em MEV. A Figura 5 mostra tais imagens. Observando estas imagens, verifica-se o mesmo comportamento observado na Figura 4: somente os tratamentos **S** e **L** apresentaram alterações superficiais significativas. Estas superfícies apresentaram riscos, os quais estão mais evidenciados na superfície submetida ao tratamento **L**.

2.2.2 Rugosidade superficial do revestimento de zinco

Para verificar se a alteração superficial observada no item anterior determinou alteração da rugosidade do zinco, foram realizadas medidas de rugosidade em chapas de AZIQ sem pré-

tratamento para pintura (branco) e após o pré-tratamento **L** (lixamento mecânico manual) que foi aquele em que os riscos observados no MEV foram mais evidenciados. Tais medidas foram feitas com um rugosímetro da marca MITUTOYO, modelo SJ, em três chapas de cada lote, em cinco extensões de cada. Procurou-se realizar as medidas exatamente nas mesmas regiões nas quais as medidas foram obtidas antes do pré-tratamento (lixamento mecânico manual).

Em cinco diferentes extensões de 2,5 cm da superfície de cada chapa, foram obtidas o parâmetro $Ra_{cut\ off\ 2,5\ x\ 5}$, que significa que em cada extensão de 2,5 cm o equipamento executa cinco medidas, fornecendo uma média destas. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2. Observando os resultados obtidos, verifica-se que, de maneira geral, este tratamento causou uma ligeira diminuição da rugosidade superficial das chapas de AZIQ dos quatro lotes, de modo que não se pode afirmar que este tratamento causou um aumento significativo do perfil de rugosidade.

2.2.3 Análise química superficial para a verificação da eficiência dos pré-tratamentos no que se refere à remoção dos contaminantes

Para verificar a eficiência dos pré-tratamentos selecionados no que se refere à capacidade de remoção dos contaminantes superficiais do AZIQ, a superfície dos diferentes lotes foi submetida a análises químicas antes (branco) e após os quatro pré-tratamentos. As seguintes técnicas foram utilizadas:

- análises por EDS (dispersão de energia) com auxílio de um MEV (microscópio eletrônico de varredura), da marca JOEL, modelo JSM 6300, com voltagem de 15 kV. Para as análises superficiais, corpos-de-prova com dimensões 1 cm x 1 cm foram utilizados. Os resultados da análise por EDS referem-se a uma média da análise realizada em toda a superfície do corpo-de-prova (1 cm²). Em alguns casos, foi observada a presença de pontos com aspecto diferente do restante da superfície. Nestes, a análise por EDS foi realizada pontualmente (destacados em azul na Tabela 3);
- análise quantitativa para determinação da quantidade de cloreto por unidade de área.

Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. Observando os resultados apresentados nestas Tabelas, pode-se verificar que:

- o desengraxe com solução alcalina não foi capaz de retirar todo o Cl presente na superfície das amostras, visto que foi verificada a contaminação localizada com Cl em todos os lotes. Este tratamento não retirou também a camada cromatizada, pois o Cr foi detectado nos três lotes que receberam tratamento de cromatização (Lotes I, III e IV);
- em relação aos elementos Cl e Cr, as mesmas observações feitas para o desengraxe aplicam-se para o hidrojateamento. Neste caso, foi observada, também, a contaminação da superfície com quantidades significativas de cálcio, maiores do que as encontradas em outras amostras, podendo-se supor que isto seja proveniente da água utilizada para este tratamento;
- os tratamentos "ação mecânica com esponja abrasiva e água quente" e "lixamento mecânico manual" foram capazes de remover todo o Cr proveniente da cromatização bem como a contaminação com Cl. No entanto, nos corpos-de-prova submetidos ao tratamento "ação mecânica com esponja abrasiva e água quente" foi detectado cálcio;
- as amostras desengraxadas foram as que apresentaram as superfícies mais oxidadas enquanto que os pré-tratamentos "ação mecânica com esponja abrasiva e água quente" e "lixamento mecânico manual" foram capazes de eliminar praticamente todos os óxidos e hidróxidos da superfície do AZIQ.

Com base nos resultados apresentados, verifica-se claramente que a eficiência na remoção de contaminantes salinos é maior para os pré-tratamentos **S** (ação mecânica com esponja abrasiva e água quente) e **L** (lixamento mecânico manual) seguidos do pré-tratamento **J** (lavagem com água a alta pressão) e **D** (desengraxe alcalino aquoso).

3. Pintura: obtenção e caracterização

Após a execução dos pré-tratamentos, as chapas de AZIQ foram imediatamente pintadas (com pistola de pulverização convencional) com tinta de aderência e, após a cura desta, foram pintadas com a tinta de acabamento.

O esquema de pintura escolhido compreendeu (para os quatro lotes de chapas de AZIQ):

- pré-tratamento;
- uma demão da tinta de aderência com uma espessura local da película seca variando entre 15 μm a 20 μm ;
- uma demão da tinta de acabamento com espessura da película seca local entre 35 μm a 40 μm .

A aderência das camadas de tintas foi verificada pelos métodos de corte em X, tração e impacto de pedra baseados nas normas NBR 11003 (7), ISO 4624 (8) e DIN 55996-1 (9). O material de bombardeio utilizado para o ensaio de impacto de pedra atende a norma DIN EN ISO 11124-2 (10). Os resultados de aderência obtidos estão apresentados juntamente com os resultados dos ensaios realizados após os ensaios de desempenho (Tabelas 6 a 9).

4. Ensaios de desempenho (acelerados e não-acelerados)

Para verificação do desempenho dos diferentes esquemas de pintura, chapas de AZIQ pintadas, representativas de cada esquema de pintura, foram submetidas a ensaios acelerados e não-acelerados de corrosão, a saber: ensaio de exposição à umidade saturada e exposição à atmosfera natural. O ensaio de umidade saturada foi escolhido, pois, em trabalho anterior(2) foi verificado que este ensaio era o mais indicado para a verificação do efeito da contaminação da superfície do AZIQ nos sistemas dúplex.

Após a realização dos ensaios de desempenho, a aderência da camada de tinta foi novamente verificada segundo os mesmos procedimentos citados no item 3.

O grau de empolamento das camadas de tinta durante os ensaios de desempenho foi verificado de acordo com a norma ASTM D714 (11). Para a visualização gráfica, os graus de empolamento foram convertidos para um valor numérico de acordo com os critérios apresentados na Tabela 5.

4.1 Exposição à umidade saturada

O ensaio foi conduzido em uma câmara de umidade saturada – umidade relativa de 100% e temperatura de $(40\pm 2)^\circ\text{C}$ – obedecendo as recomendações da NBR 8095 (12). O tempo total de ensaio fixado para exposição à umidade saturada foi de 56 dias (1344 h).

Nas Tabelas 6 a 9, estão apresentados os resultados dos ensaios de acompanhamento realizados para os diferentes pré-tratamentos, antes e após 1344 h da exposição dos corpos-de-prova de AZIQ pintados, na câmara de umidade saturada, a saber: corte em **X**, aderência por tração e impacto de pedra. Já as Figuras 6 a 9 apresentam a evolução do grau de empolamento.

Convém mencionar, que estão apresentados os valores médios, com desvios padrões, do ensaio de aderência de tinta por tração (em MPa). Para alguns esquemas de pintura, a falha ocorreu na própria tinta de aderência. Nestes casos, os resultados em MPa não foram apresentados, mais sim, a notação “Falha coesiva”.

Observando os resultados apresentados nas Tabelas 6 a 9 e nas Figuras 6 a 9, no geral, a ordem de desempenho obtida para os pré-tratamentos para pintura estudados foi:

aderência corte em X:

$$\boxed{L} > \boxed{S} > \boxed{J} > \begin{array}{c} \boxed{B} \\ \boxed{D} \end{array}$$

aderência por tração: levando em consideração o tipo de falha e, no caso desta ser só adesiva, os valores de força de tração em MPa

$$\boxed{L} > \boxed{S} > \boxed{J} > \begin{array}{c} \boxed{B} \\ \boxed{D} \end{array}$$

aderência por impacto de pedra

$$\boxed{L} > \boxed{S} > \boxed{J} > \boxed{B} > \boxed{D}$$

grau de empolamento - considerando o grau de empolamento após os 1344 h de ensaio: a ordem de desempenho diferiu para cada lote, a saber:

Lote I: $\begin{array}{c} \boxed{J} \\ \boxed{L} \end{array} > \boxed{S} > \boxed{B} > \boxed{D}$

Lote II: $\boxed{S} > \boxed{L} > \boxed{B} > \boxed{J} > \boxed{D}$

Lote III: $\boxed{J} > \boxed{L} > \boxed{S} > \boxed{B} > \boxed{D}$

Lote IV: $\boxed{J} > \boxed{L} > \boxed{B} > \boxed{S} > \boxed{D}$

Pode-se verificar que nos ensaios de verificação da aderência por corte em X, impacto de pedra e aderência por tração, o pré-tratamento **L** (lixamento mecânico manual) foi o de melhor desempenho, seguido, nesta ordem, pelos pré-tratamentos **S** (ação mecânica com esponja abrasiva e água quente) e **J** (hidrojateamento). O desengraxe não se mostrou um pré-tratamento adequado, pois, o seu desempenho foi pior ou, no máximo, igual ao branco.

Já no ensaio de grau de empolamento, não foi verificada uma tendência única de desempenho para os diferentes lotes, não sendo possível indicar o de melhor desempenho. Por esta razão, este ensaio foi feito novamente, porém apenas durante 28 dias. Neste, foi realizado o seguinte ensaio de acompanhamento:

- exame visual a cada 7 dias, para verificação do aparecimento de bolhas;

- rompimento das bolhas e verificação do local de formação das mesmas;
- não consideração das bolhas, no caso delas terem sido formadas entre a tinta de aderência e a tinta de acabamento;
- no caso de bolhas formadas entre o substrato e a tinta de aderência, verificação da ocorrência ou não de corrosão branca.

Nestas condições, a ordem de desempenho obtida foi:

Lote I: [L] > [J] > [S] > [B] > [D]

Lote II: [S] > [L] > [B
D] > [J]

Lote III: [L
S
J] [D] > [B]

Lote IV: [L
S
J] > [B] > [D]

Levando em consideração todos os resultados dos ensaios de acompanhamento para verificação da aderência (corte em X, impacto de pedra e tração) e esses últimos resultados de grau de empolamento, pode-se concluir que os pré-tratamentos **L** (lixamento manual) e **S** (ação mecânica com esponja abrasiva) são os de melhor desempenho e o pré-tratamento **D** (desengraxe alcalino aquoso) o de pior desempenho. A lavagem com água a alta pressão (pré-tratamento **J**) é o de desempenho intermediário. Estes resultados estão de acordo com resultados anteriormente obtidos em trabalhos realizados pelo Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT. Além disto, os tratamentos L e S foram aqueles que retiraram da superfície do AZIQ com maior eficiência os contaminantes aí presentes.

Cabe informar, que dentre todos os ensaios de acompanhamento realizados, o impacto de pedra foi aquele que se mostrou mais adequado para o caso do aço zincado e pintado.

4.2. Ensaio não-acelerado de corrosão

Três chapas de AZIQ pintadas de cada esquema de pintura foram instalados em painéis de ensaio com a superfície voltada para o norte geográfico, inclinados em 30° com relação ao plano horizontal, em duas estações de ensaio de corrosão atmosférica. Foram realizadas duas inspeções nos corpos-de-prova expostos às atmosferas naturais da Estação do Bairro do Limão da cidade de São Paulo (atmosfera urbana) e da Estação Cubatão, na cidade de Cubatão (atmosfera industrial). A Figura 10 mostra as estações de ensaios de corrosão atmosférica.

O comportamento dos esquemas de pintura nos ensaios não-acelerados de corrosão foi verificado de maneira semelhante ao dos ensaios acelerados (aderência das tintas por corte em X, impacto de pedra, tração e grau de empolamento).

4.2.1 Estação atmosférica do Limão – São Paulo - SP

Foram feitas duas avaliações visuais para verificação do aparecimento de bolhas: após seis meses e doze meses de exposição na estação de corrosão atmosférica.

Após seis meses, foram observadas alterações somente nas bordas dos corpos-de-prova de alguns esquemas de pintura. Entretanto, estas regiões não foram consideradas válidas para análise.

Após doze meses, assim como na primeira avaliação, notou-se a presença de bolhas nas bordas dos corpos-de-prova de alguns esquemas de pintura. Mais uma vez, como as bolhas estavam na região da borda das placas, elas não foram consideradas válidas para análise.

Aos doze meses de exposição, todos os corpos-de-prova foram retirados, pois a estação Limão foi desativada. Alguns destes foram submetidos aos ensaios de acompanhamento de verificação de aderência (corte em **X**, impacto de pedra e aderência por tração) em laboratório. As Tabelas 10 a 13 apresentam os resultados obtidos.

Para o ensaio de aderência por corte em **X**, pode-se observar pequena perda de aderência nos corpos-de-prova e esta não foi significativamente diferente entre os diferentes esquemas de pintura de modo que fosse possível diferenciar seus desempenhos, exceto para as amostras do Lote I – S, Lote II – B e Lote II – D, cujos graus de destacamento foram X_0Y_2 , X_0Y_2 e X_2Y_1 , respectivamente.

Os resultados do ensaio de aderência por tração mostraram que não houve perda de aderência significativa de modo que fosse possível diferenciar o seu desempenho. Todas as amostras, ainda, apresentavam falha de aderência coesiva.

Os resultados do ensaio de impacto de pedra também mostraram que não ocorreu perda de aderência significativa nas amostras ensaiadas dos diferentes lotes e pré-tratamentos estudados.

O fato da não diferenciação do desempenho das amostras, com relação à perda de aderência, está relacionado, muito provavelmente, ao pouco tempo de exposição destas na estação de corrosão atmosférica, tempo este que não foi suficiente para levar a uma degradação do sistema de pintura aplicado sobre as diferentes amostras de AZIQ, exceto para as citadas neste item.

4.2.2 Estação atmosférica de Cubatão – São Paulo - SP

Com relação aos ensaios não-acelerados de corrosão na Estação de Cubatão (atmosfera industrial), foi realizado o mesmo procedimento na Estação do Limão, isto é, foram feitas duas avaliações visuais para a verificação do aparecimento de bolhas: após seis meses e doze meses de exposição na estação de corrosão atmosférica.

Após seis meses, foram observadas alterações nas bordas de alguns corpos-de-prova. Entretanto, estas regiões não foram consideradas válidas para análise.

Após doze meses, notou-se a presença de bolhas nas bordas dos corpos-de-prova de alguns esquemas de pintura. Entretanto, alguns corpos-de-prova já começaram a apresentar bolhas na superfície, citando-se:

- **LOTE I:** LI – B (grau 8MD), LI – D (grau 8F) e LI – J (grau 8F);
- **LOTE II:** LII – B (grau 8MD), LII – D (grau 8 M), LII – J (grau 8D) e LII – L (grau 8F);
- **LOTE III:** LIII – B (grau 8F), LIII – D (grau 8F) e LIII – J (grau 8F);
- **LOTE IV:** LIV – B (grau 8M), LIV – D (grau 8F), LIV – J (grau 8F) e LIV – S (grau 8F).

Apesar de preliminares, estes resultados mostram, à semelhança do que foi verificado no ensaio acelerado, que:

- o branco e o desengraxe foram os que apresentaram o pior desempenho;

- os pré-tratamentos **L** (lixamento manual) e **S** (ação mecânica com esponja abrasiva) são, aparentemente, o de melhor desempenho;
- a lavagem com água a alta pressão (pré-tratamento **J**) é, aparentemente, o de desempenho intermediário.

5. Análise dos resultados

No presente trabalho, quatro pré-tratamentos foram adotados, a saber:

- desengraxe alcalino aquoso;
- lavagem com água (isento de areia) a alta pressão – hidrojateamento;
- ação mecânica com esponja abrasiva e água quente;
- lixamento mecânico manual.

A superfície de amostras assim preparada foi devidamente caracterizada por meio de exames no MEV, análises por EDS e determinação do teor de cloretos. Os resultados obtidos mostraram que:

- o desengraxe e o hidrojateamento não foram capazes de retirar a contaminação com cloreto da superfície dos diferentes lotes e nem foram capazes de retirar todo o filme de cromatização. O desengraxe determinou ainda maior oxidação da superfície do AZIQ. O fato do hidrojateamento não ser eficiente deve-se, provavelmente, à presença de cloretos insolúveis na superfície de AZIQ;
- os tratamentos “ação mecânica com esponja abrasiva e água quente” e “lixamento mecânico manual” removeram toda a contaminação com cloreto, incluindo o sal insolúvel, mas também removeram todo o filme de cromatização. Estes tratamentos removeram ainda todos os óxidos e hidróxidos da superfície do AZIQ.

Os ensaios de desempenho, tanto os acelerados como os não-acelerados (estes últimos realizados apenas por dois anos, considerado pouco tempo para este tipo de avaliação) mostraram que o desengraxamento não é um pré-tratamento recomendado para o AZIQ, pois foi o que apresentou o pior desempenho. Os tratamentos “ação mecânica com esponja abrasiva e água quente” e “lixamento mecânico manual” foram os de melhor desempenho, não se verificando diferenças perceptíveis entre os mesmos, devendo ser estes os tratamentos de limpeza adotados antes da pintura do AZIQ. O hidrojateamento apresentou desempenho intermediário. Estas conclusões independem do grau de contaminação da superfície do AZIQ durante a sua produção e da adoção ou não da cromatização. Para o zinco, o importante é eliminar toda e qualquer contaminação superficial, sendo os níveis toleráveis para os cloretos muito menores do que aqueles aceitos para o aço-carbono os quais, apesar de ainda não estarem bem estabelecidos, variam de $3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ a $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ dependendo das condições de exposição(2).

Conclusões

Para garantir o desempenho das camadas de tinta aplicadas sobre superfícies de aço zincado por imersão a quente deve-se adotar um pré-tratamento capaz de eliminar toda e qualquer contaminação com cloretos, na forma de sais solúveis como insolúveis. Para isto, o hidrojateamento não é eficiente, visto que não é capaz de eliminar toda a contaminação, especialmente os insolúveis. Tratamentos com ação abrasiva associada à lavagem com água são

os mais recomendados. Como meio abrasivo pode-se usar esponjas ou lixas, devendo a água de lavagem ser isenta de cloretos.

Referências bibliográficas

- (1) PANOSSIAN, Z.; FRAGATA, F. de L.; FERRARI, J. V. Pintura de aço galvanizado por imersão a quente (aço galvanizado) – falha prematura devido à presença de contaminantes salinos provenientes do processo de zincagem. In: **Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de Superfície – XI EBRATS’ 2003**. São Paulo, 2003. (CD-ROM)
- (2) FERRARI, JEAN. **Contaminação com sal de cloreto e cromatização da superfície do aço zincado no processo não-contínuo de zincagem por imersão a quente: influência no desempenho de tintas e determinação de pré-tratamentos para pintura adequados**. 2006. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, PMT, Engenharia Metalúrgica e de Materiais.
- (3) ASTM – **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. 1999. D 6386: standard practice for preparation of zinc (hot-dip galvanized) coated iron and steel and hardware surfaces for painting. Philadelphia. 7p.
- (4) ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7398:1990b - produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente – verificação da aderência do revestimento. Rio de Janeiro. 5p.
- (5) ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7400:1990a - produto de aço ou ferro fundido – revestimentos de zinco por imersão a quente – verificação da uniformidade do revestimento. Rio de Janeiro. 4p.
- (6) ISO – **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION**. ISO 3696:1987 - water for analytical laboratory use – specification and test methods. Geneva. 5p.
- (7) ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 11003:1987 - tintas – determinação da aderência. Rio de Janeiro. 5p.
- (8) ISO – **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION**. ISO 4624:2002 - paints and varnishes – pull-off test for adhesion. Geneva. 11p.
- (9) DIN – **Deutsches Institut für Normung**. DIN 55996-1:2001 - paints and varnishes - Stone chip resistance test for coatings - Part 1: Multi impact test
- (10) DIN – **Deutsches Institut für Normung**. DIN EN ISO 11124-2:1993 - preparation of steel substrates before application of paints and related products - Specifications for metallic blast-cleaning abrasives - Part 2: Chilled-iron grit (ISO 11124-2:1993); German version.
- (11) ASTM – **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. D 714:1987 - standard test method for evaluating degree of blistering of paints. Philadelphia. 5p.
- (12) ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 8095:1983 - material metálico revestido e não-revestido – corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada Rio de Janeiro. 4p.

Tabela 1 – Relação dos pré-tratamentos de pintura.

Lote	Nomenclatura	Descrição do pré-tratamento
I, II, III e IV	B	Branco, amostras limpas somente com pano embebido no mesmo solvente utilizado para diluir as tintas (amostras-referência)
	D	Desengraxe alcalino aquoso
	J	Lavagem com água (isenta de areia) a alta pressão – hidrojateamento
	S	Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente (60°)
	L	Lixamento mecânico manual

Tabela 2 – Rugosidade superficial medida em chapas de AZIQ dos Lotes I, II, III e IV antes e após a execução do pré-tratamento para pintura de lixamento mecânico manual.**Formato do resultado:****antes do lixamento mecânico manual / (após lixamento mecânico manual)**

Lote	Chapa	Rugosidade superficial média Ra (μm) de cinco extensões de 2,5 cm				
		1	2	3	4	5
I	1	3,32 / (2,63)	2,62 / (2,41)	2,09 / (1,87)	2,93 / (2,31)	3,63 / (2,09)
	2	1,33 / (2,23)	1,63 / (1,60)	0,98 / (2,40)	1,90 / (1,33)	1,67 / (2,05)
	3	10,67* / (1,30)	4,81 / (1,87)	4,39 / (1,49)	4,63 / (1,60)	8,84 / (1,33)
II	1	5,57 / (2,25)	1,97 / (1,99)	2,54 / (1,93)	4,82 / (1,87)	1,21 / (1,81)
	2	2,30 / (1,69)	2,04 / (1,55)	5,45 / (1,65)	2,09 / (1,51)	2,35 / (1,68)
	3	4,46 / (1,67)	3,32 / (1,91)	3,53 / (2,50)	3,26 / (1,43)	3,54 / (2,10)
III	1	2,17 / (1,56)	1,71 / (1,92)	1,92 / (2,82)	4,29 / (2,41)	4,69 / (1,77)
	2	4,69 / (2,15)	21,66 / (2,02)	1,94 / (1,18)	12,95 / (1,78)	1,78 / (1,83)
	3	5,67 / (1,17)	1,47 / (1,77)	17,07* / (1,94)	2,87 / (1,84)	1,60 / (1,51)
IV	1	2,12 / (1,47)	1,73 / (1,50)	1,21 / (1,79)	5,65 / (2,00)	5,08 / (2,15)
	2	2,72 / (1,76)	1,30 / (1,68)	2,21 / (1,78)	2,11 / (1,94)	2,23 / (1,98)
	3	1,58 / (2,46)	1,67 / (1,29)	2,32 / (2,33)	1,50 / (1,32)	2,04 / (1,54)

* Estes elevados valores de rugosidade possivelmente foram causados devido às protuberâncias do próprio revestimento de zinco.

Tabela 3 – Resultado da análise semiquantitativa por EDS de corpos-de-prova de AZIQ que foram submetidos ou não aos pré-tratamentos para pintura.

Amostra	Elementos detectados									
	Zn	O	Cl	Cr	Si	Al	Fe	Ca	Pb	S
LI – B	97,88	0,02	-	0,11	-	0,49	-	-	1,57	-
LI – B*	75,82	17,82	2,89	1,73	-	0,44	1,29	-	-	-
LII – B	96,97	-	-	-	0,08	0,34	-	-	2,60	-
LIII – B	96,86	0,31	0,24	0,23	0,04	0,32	-	-	1,99	-
LIV – B	95,60	1,07	-	-	0,22	0,57	-	-	2,55	-
LIV – B*	87,37	8,95	0,03	3,03	-	0,62	-	-	-	-
LIV – B*	54,34	0,70	2,62	0,36	-	0,17	7,25	4,87	-	0,68
LIV – B*	80,68	14,080	0,32	3,29	-	0,21	-	-	1,42	-
LI – D	97,28	0,18	-	-	0,15	0,48	-	-	1,90	-
LI – D*	52,20	36,49	-	4,77	4,21	1,10	-	0,33	-	0,9
LI – D*	73,58	23,36	2,19	-	-	0,87	-	-	-	-
LII – D	97,00	0,25	-	-	0,18	0,36	-	-	2,21	-
LII – D*	67,73	26,73	0,58	-	1,71	1,05	-	-	2,2	-
LIII – D	94,95	1,47	-	0,22	0,33	0,58	0,25	-	2,19	-
LIII – D*	90,98	6,67	1,18	-	0,75	0,42	-	-	-	-
LIII – D*	67,44	26,04	-	4,34	2,18	-	-	-	-	-
LIV – D	97,86	0,02	-	-	-	0,24	-	-	1,87	-
LIV – D*	47,91	28,59	2,65	3,06	2,35	7,69	-	-	7,74	-
LI – J	94,61	1,91	-	-	0,22	0,91	-	-	2,36	-
LI – J*	33,17	31,29	3,97	0,82	1,45	23,59	-	1,76	3,95	-
LII – J	97,51	-	-	-	-	0,32	-	-	2,17	-
LII – J*	60,25	21,33	0,3	-	-	-	3,64	13,5	0,98	-
LIII – J	91,92	0,86	-	-	-	0,27	-	-	6,94	-
LIII – J*	57,29	12,78	-	-	-	0,15	-	29,78	-	-
LIII – J*	72,78	17,88	4,08	-	-	0,53	-	1,12	-	3,62
LIII – J*	91,19	1,64	-	1,61	-	-	5,56	-	-	-
LIV – J	89,44	3,68	-	-	-	1,77	-	-	5,11	-
LIV – J	35,30	29,79	2,15	1,25	2,77	15,97	-	4,60	8,17	-
LI – S	99,92	0,05	-	-	0,03	-	-	-	-	-
LII – S	94,34	1,12	-	-	-	-	1,82	2,72	-	-
LIII – S	95,12	1,02	-	-	0,04	-	1,12	2,70	-	-
LIV – S	94,31	1,15	-	-	0,08	-	1,05	3,41	-	-
LI – L	96,28	-	-	-	-	-	3,72	-	-	-
LII – L	93,94	0,64	-	-	-	-	5,42	-	-	-
LIII – L	91,97	1,17	-	-	0,01	-	6,14	0,70	-	-
LIV – L	94,68	-	-	-	-	-	5,32	-	-	-

Tabela 4 – Teores de cloreto superficial nas chapas de AZIQ.

Lotes	Teor de cloreto superficial ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) antes e após o pré-tratamento de pintura				
	Formato do resultado: média / (desvio padrão)				
	B Branco (limpo com solvente orgânico)	D Desengraxe alcalino aquoso	J Lavagem com água a alta pressão	L Lixamento mecânico manual	S Ação mecânica com esponja abrasiva e água quente
I	5,6 / (1,5)	2,6 / (0,2)	1,8 / (0,1)	0,6 / (0,1)	0,5 / (0,1)
II	2,1 / (0,4)	0,9 / (0,2)	1,0 / (0,2)	0,4 / (0,1)	0,3 / (0,1)
III	13,4 / (5,5)	0,8 / (0,0)	1,0 / (0,1)	0,3 / (0,1)	0,4 / (0,0)
IV	1,7 / (0,1)	0,8 / (0,2)	0,7 / (0,2)	0,2 / (0,0)	0,4 / (0,1)

Tabela 5 – Conversão do grau de empolamento da norma ASTM D 714 (11) para um valor numérico*.

Tamanho da bolha	Frequência das bolhas			
	F	M	MD	D
8	9	8	7	6
6	7	6	5	4
4	5	4	3	2
2	3	2	1	0

* A ausência de bolhas deve ser associada ao valor 10, assim como na norma ASTM D 714(1987)

Tabela 6 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura antes e após 1344 h de exposição em câmara de umidade saturada. Apresentação do Lote I.


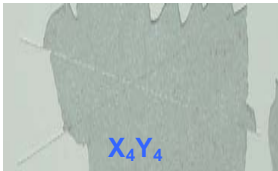
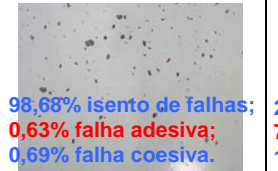
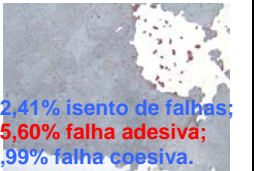

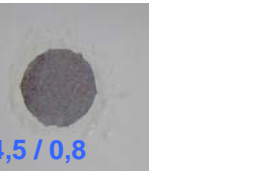
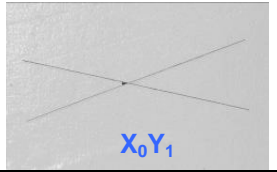
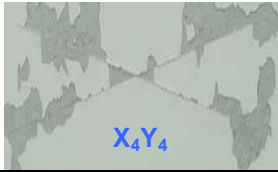
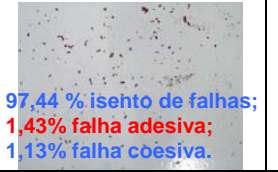
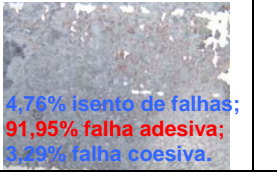


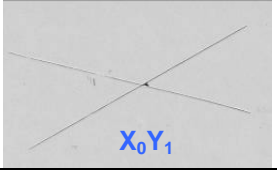

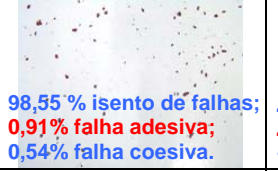
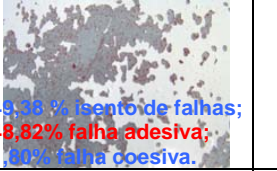
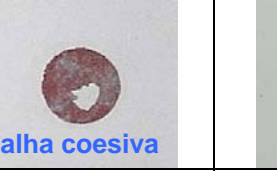
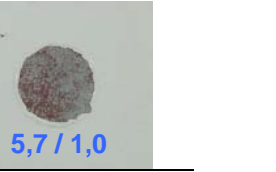


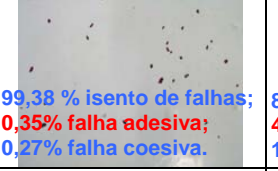
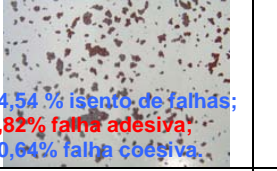

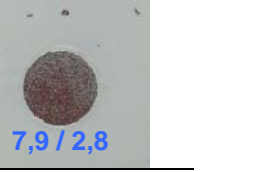

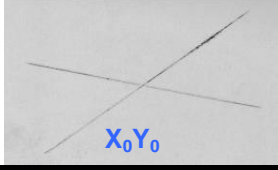
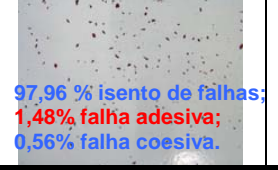
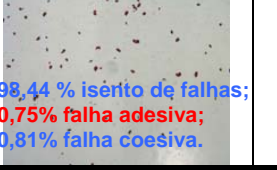


Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y		Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada		Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação Média / desvio padrão	
	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio
LI – B	 X ₀ Y ₀	 X ₄ Y ₄	 98,68% isento de falhas; 0,63% falha adesiva; 0,69% falha coesiva.	 22,41% isento de falhas; 75,60% falha adesiva; 1,99% falha coesiva.	 Falha coesiva	 4,5 / 0,8
LI – D	 X ₀ Y ₁	 X ₄ Y ₄	 97,44 % isento de falhas; 1,43% falha adesiva; 1,13% falha coesiva.	 4,76% isento de falhas; 91,95% falha adesiva; 3,29% falha coesiva.	 Falha coesiva	 Falha adesiva
LI – J	 X ₀ Y ₁	 X ₃ Y ₀	 98,55 % isento de falhas; 0,91% falha adesiva; 0,54% falha coesiva.	 49,38 % isento de falhas; 48,82% falha adesiva; 1,80% falha coesiva.	 Falha coesiva	 5,7 / 1,0
LI – S	 X ₀ Y ₀	 X ₀ Y ₁	 99,38 % isento de falhas; 0,35% falha adesiva; 0,27% falha coesiva.	 84,54 % isento de falhas; 4,82% falha adesiva; 10,64% falha coesiva.	 Falha coesiva	 7,9 / 2,8
LI – L	 X ₀ Y ₀	 X ₀ Y ₀	 97,96 % isento de falhas; 1,48% falha adesiva; 0,56% falha coesiva.	 98,44 % isento de falhas; 0,75% falha adesiva; 0,81% falha coesiva.	 Falha coesiva	 12,3 / 1,4

Tabela 7 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura antes e após 1344 h de exposição em câmara de umidade saturada. Apresentação do Lote II.

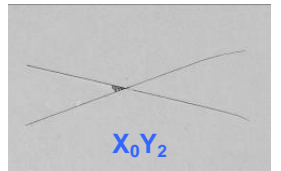

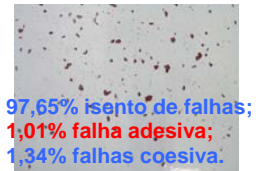
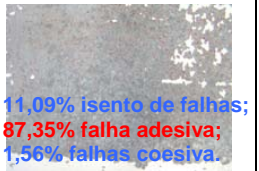


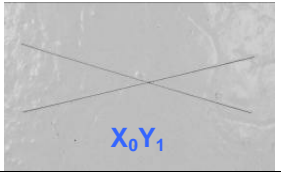
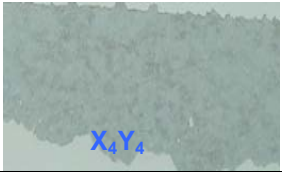
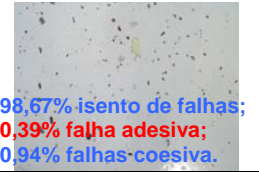
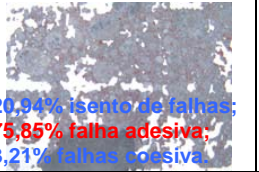


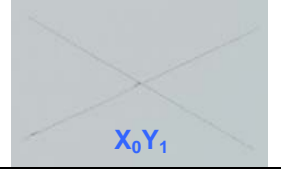

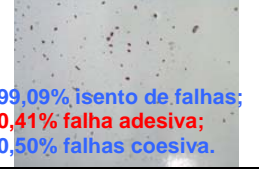
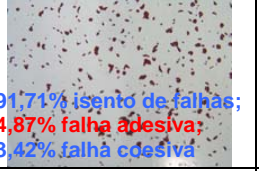

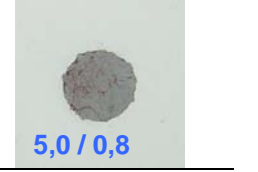


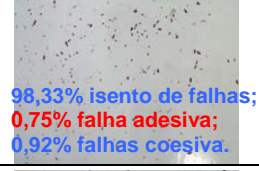
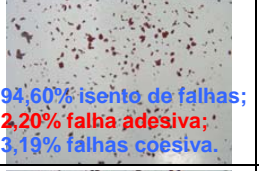

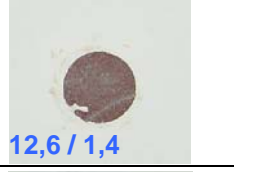
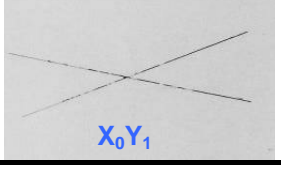

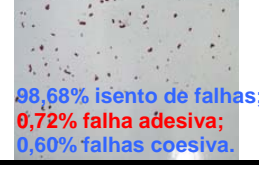
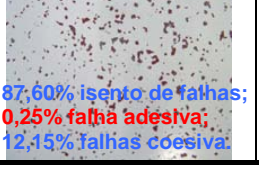

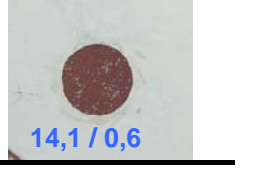
Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y		Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada		Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação Média / desvio padrão	
	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio
LII – B	 X ₀ Y ₂	 X ₄ Y ₄	 97,65% isento de falhas; 1,01% falha adesiva; 1,34% falhas coesiva.	 11,09% isento de falhas; 87,35% falha adesiva; 1,56% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 Falha adesiva
LII – D	 X ₀ Y ₁	 X ₄ Y ₄	 98,67% isento de falhas; 0,39% falha adesiva; 0,94% falhas coesiva.	 20,94% isento de falhas; 75,85% falha adesiva; 3,21% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 Falha adesiva
LII – J	 X ₀ Y ₁	 X ₁ Y ₃	 99,09% isento de falhas; 0,41% falha adesiva; 0,50% falhas coesiva.	 91,71% isento de falhas; 4,87% falha adesiva; 3,42% falha coesiva.	 Falha coesiva	 5,0 / 0,8
LII – S	 X ₀ Y ₁	 X ₀ Y ₁	 98,33% isento de falhas; 0,75% falha adesiva; 0,92% falhas coesiva.	 94,60% isento de falhas; 2,20% falha adesiva; 3,19% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 12,6 / 1,4
LII – L	 X ₀ Y ₁	 X ₀ Y ₀	 98,68% isento de falhas; 0,72% falha adesiva; 0,60% falhas coesiva.	 87,60% isento de falhas; 0,25% falha adesiva; 12,15% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 14,1 / 0,6

Tabela 8 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura antes e após 1344 h de exposição em câmara de umidade saturada. Apresentação do Lote III.

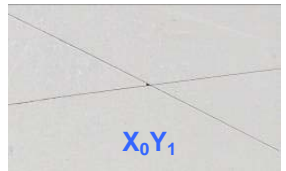

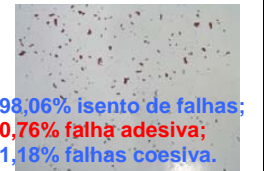
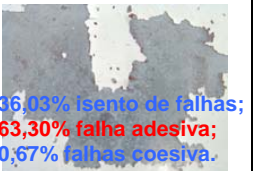


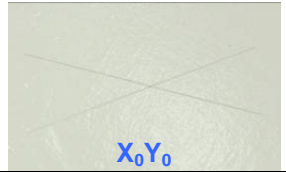
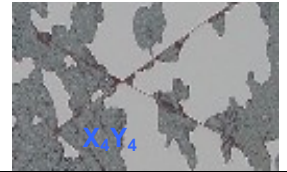
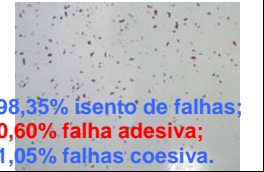
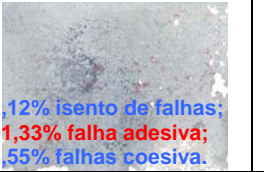


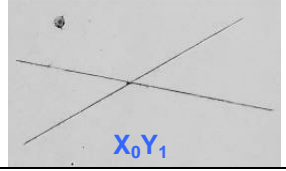

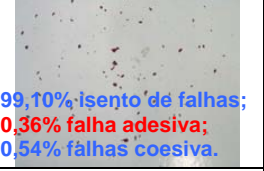


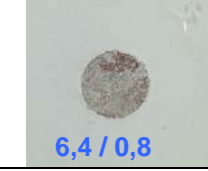

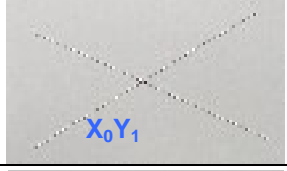
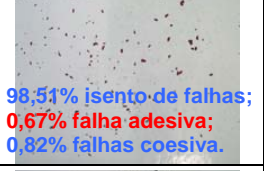
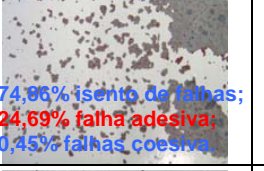


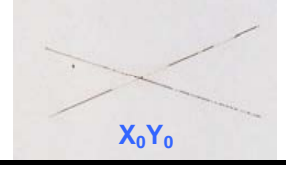
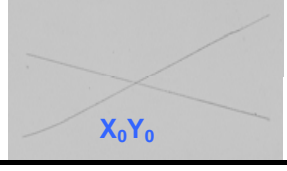
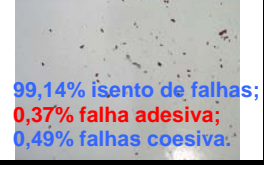
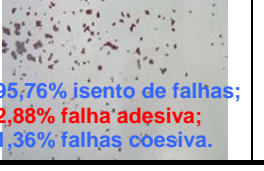

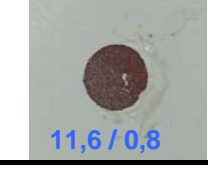
Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y		Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada		Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação Média / desvio padrão	
	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio
LIII – B	 X ₀ Y ₁	 X ₄ Y ₄	 98,06% isento de falhas; 0,76% falha adesiva; 1,18% falhas coesiva.	 36,03% isento de falhas; 63,30% falha adesiva; 0,67% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 Falha adesiva
LIII – D	 X ₀ Y ₀	 X ₁ Y ₄	 98,35% isento de falhas; 0,60% falha adesiva; 1,05% falhas coesiva.	 2,12% isento de falhas; 91,33% falha adesiva; 6,55% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 Falha adesiva
LIII – J	 X ₀ Y ₁	 X ₃ Y ₃	 99,10% isento de falhas; 0,36% falha adesiva; 0,54% falhas coesiva.	 68,99% isento de falhas; 25,47% falha adesiva; 5,84% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 6,4 / 0,8
LIII – S	 X ₀ Y ₁	 X ₀ Y ₁	 98,51% isento de falhas; 0,67% falha adesiva; 0,82% falhas coesiva.	 74,06% isento de falhas; 24,69% falha adesiva; 0,45% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 7,6 / 1,6
LIII – L	 X ₀ Y ₀	 X ₀ Y ₀	 99,14% isento de falhas; 0,37% falha adesiva; 0,49% falhas coesiva.	 95,76% isento de falhas; 2,88% falha adesiva; 1,36% falhas coesiva.	 Falha coesiva	 11,6 / 0,8

Tabela 9 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura antes e após 1344 h de exposição em câmara de umidade saturada. Apresentação do Lote IV.

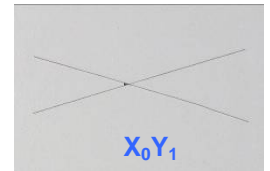

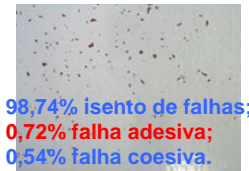
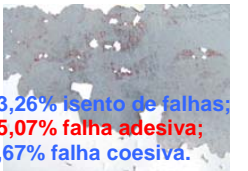


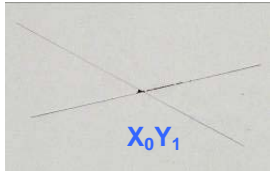
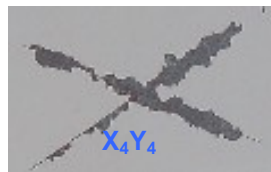

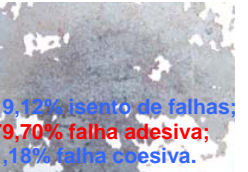


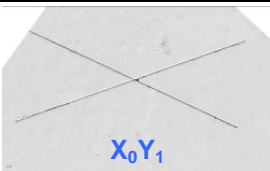

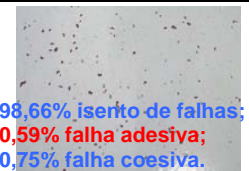
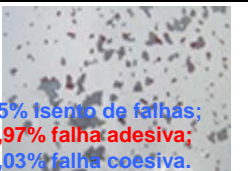




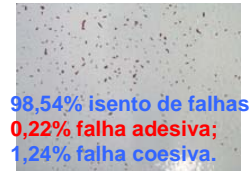
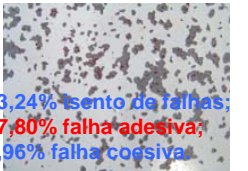


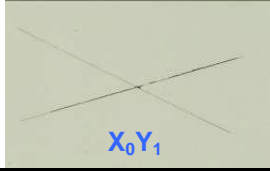
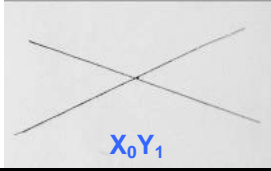
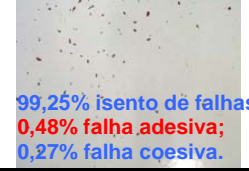
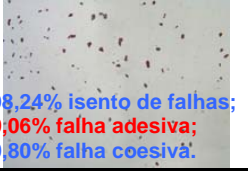


Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y		Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada		Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação Média / desvio padrão	
	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio	Antes do ensaio	Após 1344 h de ensaio
LIV – B	 X ₀ Y ₁	 X ₄ Y ₄	 98,74% isento de falhas; 0,72% falha adesiva; 0,54% falha coesiva.	 33,26% isento de falhas; 65,07% falha adesiva; 1,67% falha coesiva.	 Falha coesiva	 5,9 / 0,8
LIV – D	 X ₀ Y ₁	 X ₄ Y ₄	 98,02% isento de falhas; 0,96% falha adesiva; 1,02% falha coesiva.	 19,12% isento de falhas; 79,70% falha adesiva; 1,18% falha coesiva.	 Falha coesiva	 4,6 / 0,6
LIV – J	 X ₀ Y ₁	 X ₂ Y ₁	 98,66% isento de falhas; 0,59% falha adesiva; 0,75% falha coesiva.	 85% isento de falhas; 9,97% falha adesiva; 5,03% falha coesiva.	 Falha coesiva	 8,7 / 0,8
LIV – S	 X ₀ Y ₁	 X ₀ Y ₁	 98,54% isento de falhas; 0,22% falha adesiva; 1,24% falha coesiva.	 73,24% isento de falhas; 17,80% falha adesiva; 8,96% falha coesiva.	 Falha coesiva	 5,2 / 2,2
LIV – L	 X ₀ Y ₁	 X ₀ Y ₁	 99,25% isento de falhas; 0,48% falha adesiva; 0,27% falha coesiva.	 98,24% isento de falhas; 0,06% falha adesiva; 0,80% falha coesiva.	 Falha coesiva	 9,2 / 1,8

Tabela 10 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura após doze meses de exposição na Estação atmosférica do Limão. Lote I

Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y.	Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada	Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação: média / desvio padrão
LI – B			
LI – D			
LI – J			
LI – S			
LI – L			

Tabela 11 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura após doze meses de exposição na Estação atmosférica do Limão. Lote II

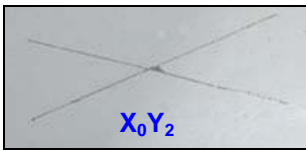
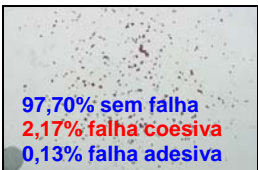


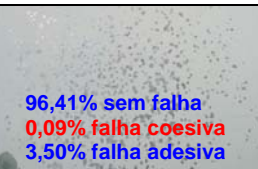

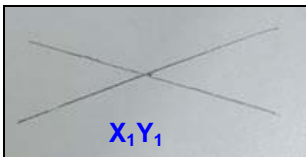
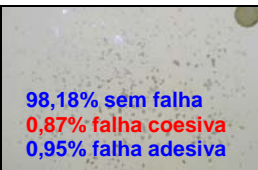




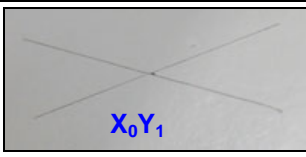
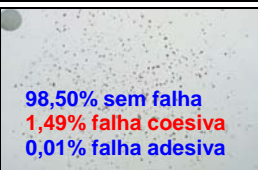

Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y.	Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada	Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação:
LII – B			
LII – D			
LII – J			
LII – S			
LII – L			

Tabela 12 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura após doze meses de exposição na Estação atmosférica do Limão. Lote III

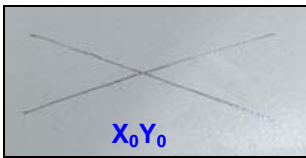
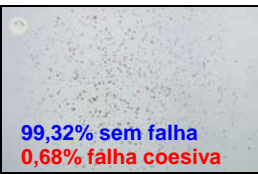

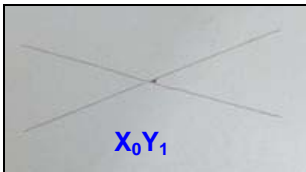
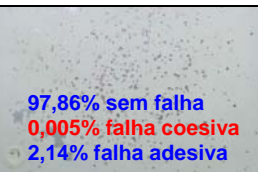

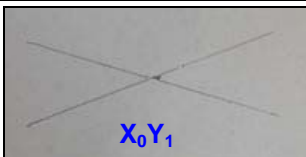
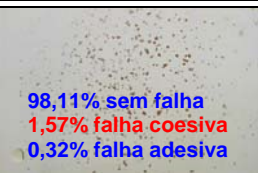

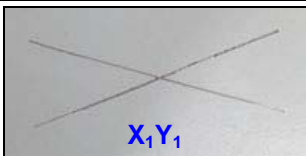
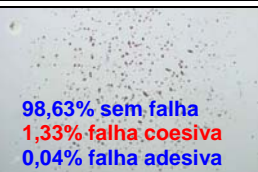

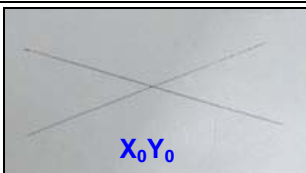
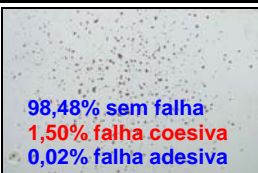

Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y.	Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada	Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação:
LIII – B	 X ₀ Y ₀	 99,32% sem falha 0,68% falha coesiva	 Falha coesiva
LIII – D	 X ₀ Y ₁	 97,86% sem falha 0,005% falha coesiva 2,14% falha adesiva	 Falha coesiva
LIII – J	 X ₀ Y ₁	 98,11% sem falha 1,57% falha coesiva 0,32% falha adesiva	 Falha coesiva
LIII – S	 X ₁ Y ₁	 98,63% sem falha 1,33% falha coesiva 0,04% falha adesiva	 Falha coesiva
LIII – L	 X ₀ Y ₀	 98,48% sem falha 1,50% falha coesiva 0,02% falha adesiva	 Falha coesiva

Tabela 13 – Resultado do ensaio de aderência de tinta por corte em X, tração e impacto de pedra em chapas representativas de todos os esquemas de pintura após doze meses de exposição na Estação atmosférica do Limão. Lote IV

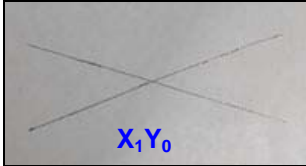
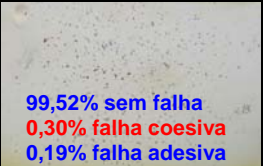

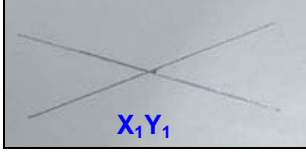
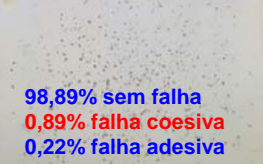

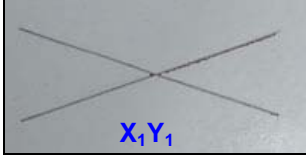
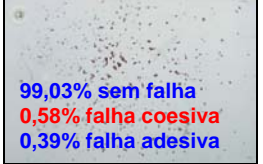

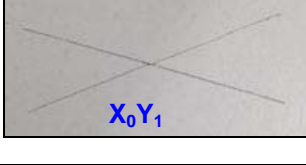
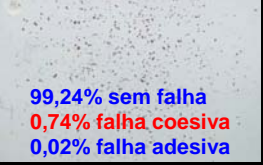

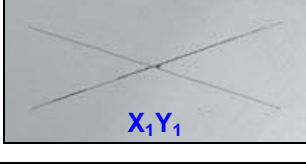


Esquema de pintura	Aderência por corte em X Índice de destacamento: grau X e Y.	Aderência por impacto de pedra % da superfície danificada	Aderência por tração (MPa) Formato de apresentação: média / desvio padrão
LIV – B	 X ₁ Y ₀	 99,52% sem falha 0,30% falha coesiva 0,19% falha adesiva	 Falha coesiva
LIV – D	 X ₁ Y ₁	 98,89% sem falha 0,89% falha coesiva 0,22% falha adesiva	 Falha coesiva
LIV – J	 X ₁ Y ₁	 99,03% sem falha 0,58% falha coesiva 0,39% falha adesiva	 Falha coesiva
LIV – S	 X ₀ Y ₁	 99,24% sem falha 0,74% falha coesiva 0,02% falha adesiva	 Falha coesiva
LIV – L	 X ₁ Y ₁	 97,71% sem falha 2,29% falha coesiva	 Falha coesiva



Figura 1 – Execução do pré-tratamento de lavagem com alta pressão – hidrojateamento.

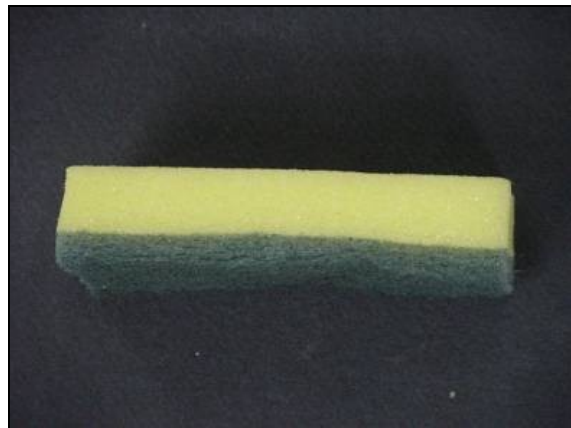


Figura 2 – Esponja utilizada no pré-tratamento de ação mecânica. O lado verde corresponde à face abrasiva da esponja.



Figura 3 – Esmerilhadeira e disco de lixa utilizados no lixamento mecânico manual.

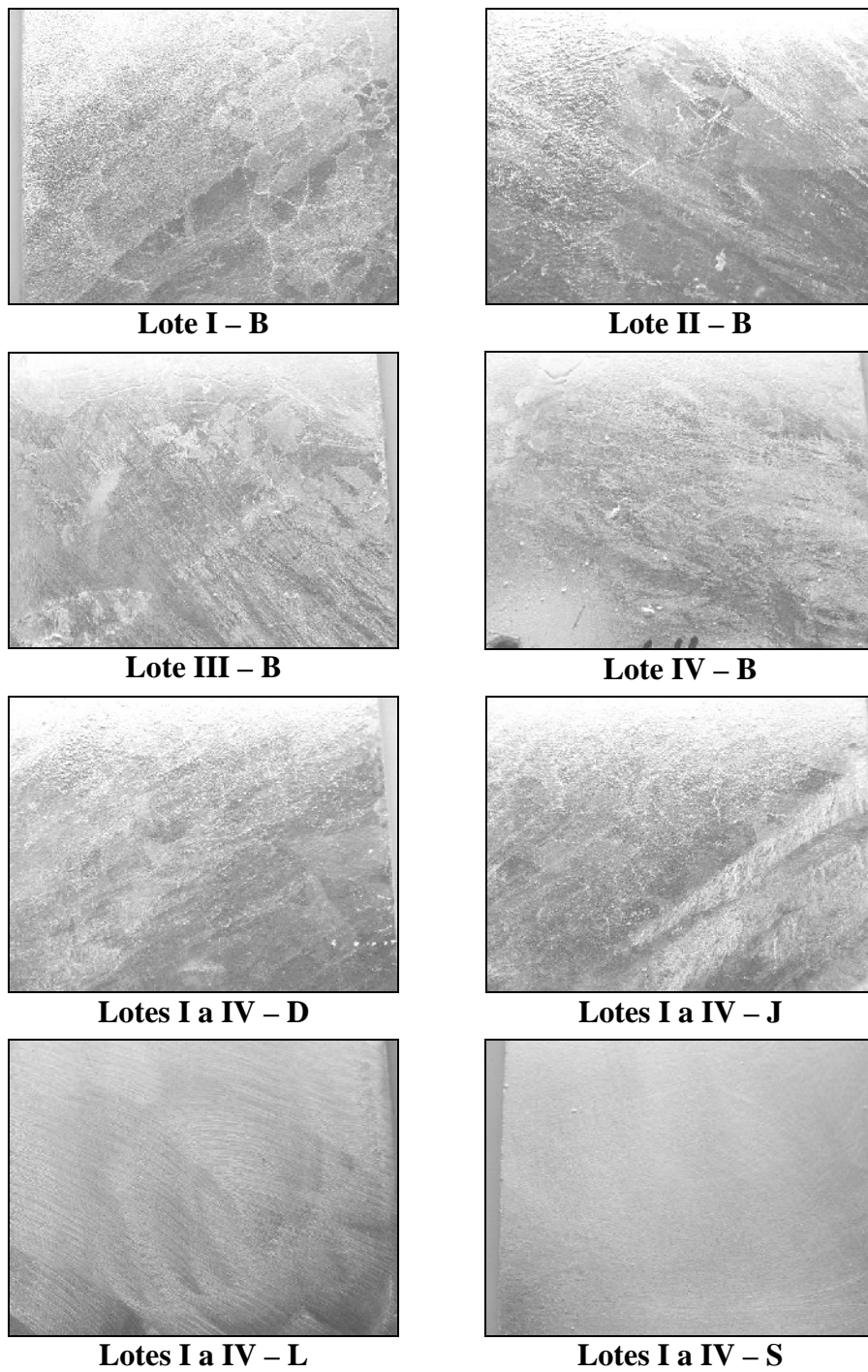


Figura 4 – Aspecto geral das chapas de AZIQ após a execução dos pré-tratamentos para pintura.

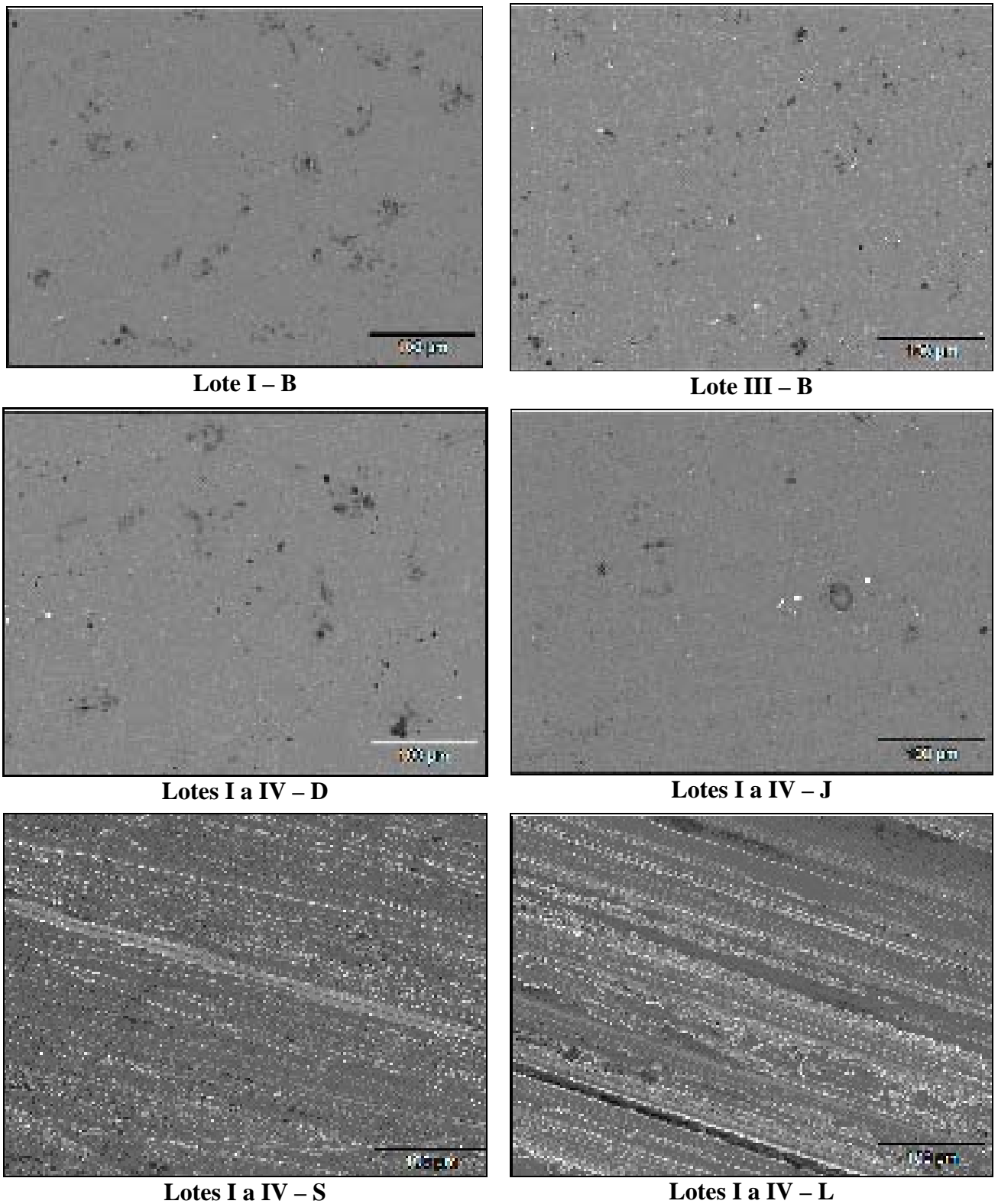


Figura 5 – Imagem de elétrons secundários da superfície do AZIQ antes (branco) e após os pré-tratamentos para pintura.

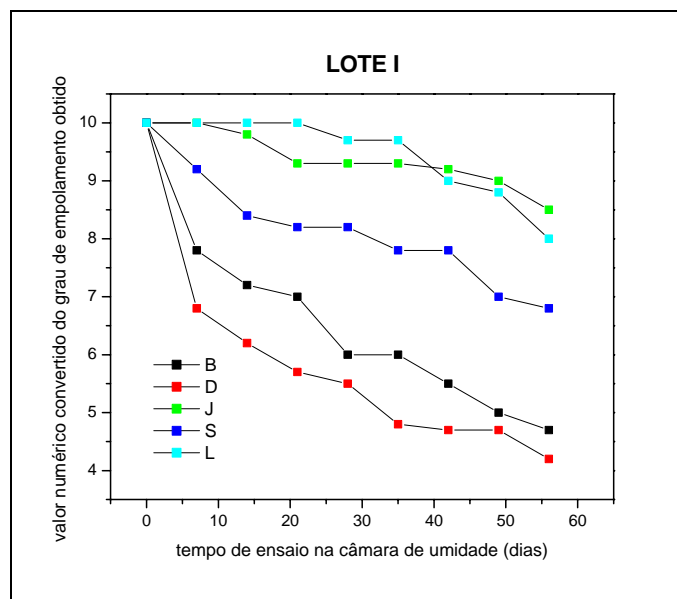


Figura 6 – Evolução da formação de bolhas de corpos-de-prova do Lote I com diferentes pré-tratamentos. Exposição à câmara de umidade saturada.

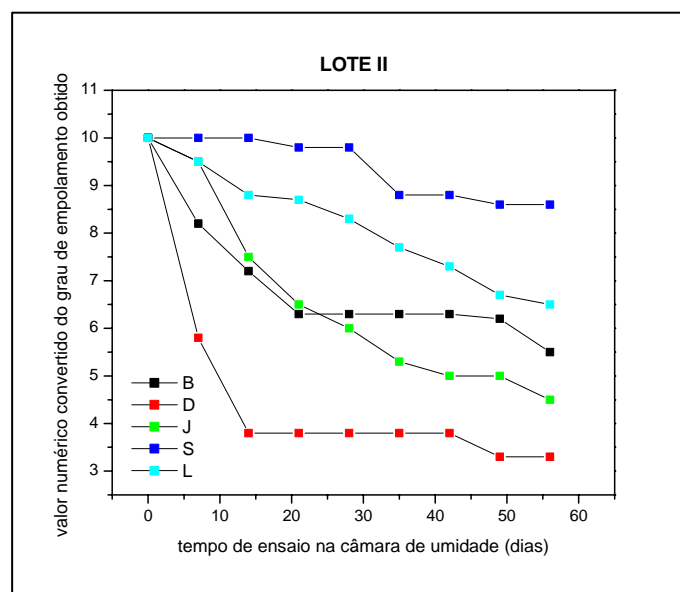


Figura 7 – Evolução da formação de bolhas de corpos-de-prova do Lote II com diferentes pré-tratamentos. Exposição à câmara de umidade saturada.

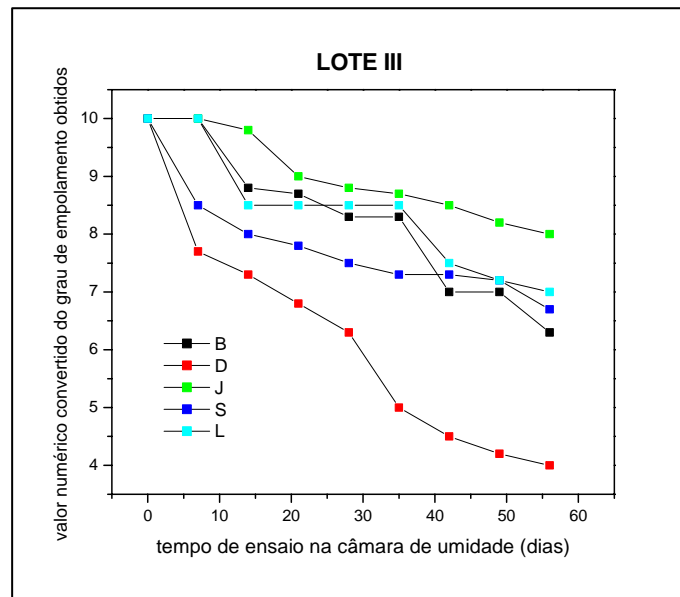


Figura 8 – Evolução da formação de bolhas de corpos-de-prova do Lote III com diferentes pré-tratamentos. Exposição à câmara de umidade saturada.

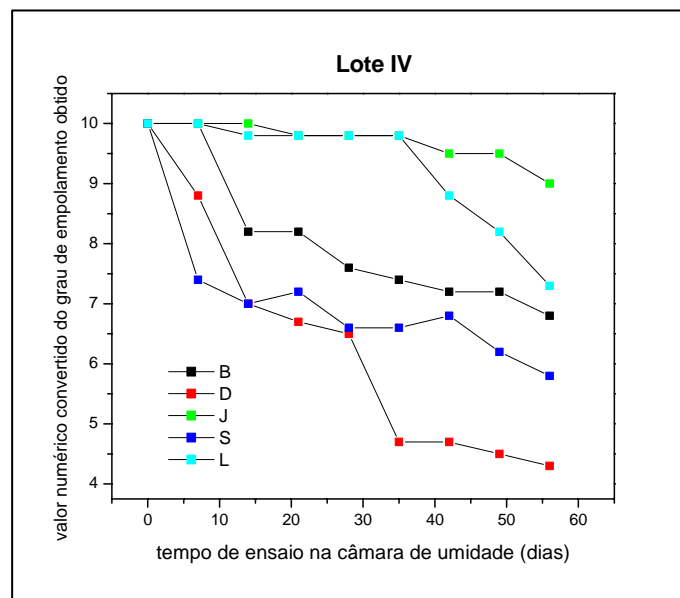


Figura 9 – Evolução da formação de bolhas de corpos-de-prova do Lote IV com diferentes pré-tratamentos. Exposição à câmara de umidade saturada.



Estação Limão- São Paulo – SP



Estação Cubatão – Cubatão – SP

Figura 10 – Estações de ensaio de corrosão atmosférica.