

ESTUDO COMPARATIVO DA CONFORMABILIDADE E DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE ELETRODEPÓSITOS DE ZINCO OBTIDOS EM BANHO DE CLORETO COM ADITIVOS E EM BANHO DE SULFATO/CLORETO SEM ADITIVOS.

PARTE 2: RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS

Fabiano Raymundo dos Santos ¹
Zehbour Panossian ²

Resumo

Este artigo é a segunda parte do trabalho cujo objetivo é comparar as características, a conformabilidade e a resistência à corrosão de revestimentos de zinco produzidos por eletrodeposição em banho à base de cloreto com aditivos e em banho à base de sulfato/cloreto sem aditivos. A primeira parte apresentou a metodologia e os resultados dos ensaios de caracterização e de conformabilidade dos revestimentos. Esta apresenta a metodologia e os resultados dos ensaios de imersão em solução de cloreto de sódio e dos ensaios acelerados de corrosão (câmara de névoa salina e câmara úmida). Foi verificado que o revestimento obtido em banho de sulfato/cloreto sem aditivos apresenta maior resistência à corrosão do que o revestimento obtido em banho de cloreto com aditivos. A superioridade desse último foi atribuída à textura do zinco e à ausência de tensões residuais no eletrodepósito.

Palavras-chave: Eletrodeposição; Corrosão; Zinco; Textura.

COMPARATIVE STUDY OF THE CORROSION RESISTANCE OF ZINC ELECTRODEPOSITS OBTAINED IN CHLORIDE BATH WITH ADDITIVES AND IN SULFATE/CHLORIDE BATH WITHOUT ADDITIVES PART 2: CORROSION RESISTANCE OF THE ELECTRODEPOSITS

Abstract

This paper is the second part of the work whose purpose is to compare the characteristics, formability and corrosion resistance of zinc coatings produced by electroplating in a chloride-based bath with additives and a sulfate/chloride bath without additives. The first part presented the methodology and the results of the characterization tests and of the formability tests. This part presents the methodology and the results of the immersion tests in a sodium chloride solution and of two corrosion accelerated tests (salt spray and humidity). The obtained results showed that the coating obtained from an additive-free sulfate/chloride bath has increased corrosion resistance more than the coating obtained from a chloride bath with additives. The superiority of the former was related to the texture of the zinc and the absence of residual stresses in the coating.

Keywords: Electrodeposition; Corrosion; Zinc; Texture.

I INTRODUÇÃO

Os revestimentos de zinco são largamente utilizados para a proteção contra a corrosão do aço-carbono, especialmente em exposições atmosféricas. O zinco apresenta dois mecanismos de proteção. A primeira é

o efeito barreira, ou seja, a camada de zinco, quando íntegra, impede o contato do aço com o ambiente de exposição. O segundo mecanismo é a proteção catódica: nas descontinuidades do revestimento, o zinco age como

¹Processos Industriais, Fundação de Apoio, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: fbrays@gmail.com

²Laboratório de Corrosão e Proteção, Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, SP, Brasil



revestimento de sacrifício, ou seja, oferece proteção catódica ao aço-carbono exposto.

O tempo de proteção depende fundamentalmente da espessura do revestimento e da taxa de corrosão. Assim, para uma mesma taxa de corrosão, o tempo de proteção será tanto maior quanto maior a espessura do revestimento. Por outro lado, o revestimento que apresentar menor taxa de corrosão, protegerá o aço por maior tempo. Desse modo, é importante conhecer a taxa de corrosão de cada um dos eletrodepósitos estudados para verificar qual é aquele que apresentará melhor desempenho em termos de resistência à corrosão.

Quando um metal é exposto a um meio corrosivo, a taxa de corrosão de cada grão é diferente, uma vez que a energia de ligação de cada átomo com os seus vizinhos é diferente para planos cristalográficos diferentes [1]. De acordo com Scully citado por Park e Szpunar [1], a energia total envolvida para a quebra da ligação de um átomo metálico com os seus vizinhos, e subsequente corrosão do átomo, é maior quando o átomo possui um número maior de átomos vizinhos, ou seja, é maior para planos cristalográficos mais compactos. Em outras palavras, os planos mais compactos são os mais resistentes à corrosão.

Ashton e Hepwort [2] utilizaram monocristais de zinco para avaliar a corrosão de diferentes planos cristalográficos em NaOH 0,5 mol/L. Esses autores levantaram curvas de polarização do plano basal (00.1) e dos planos prismáticos (10.0) e (11.0) e a partir dessas curvas calcularam as densidades de corrente de corrosão. Esses autores compararam os resultados obtidos com o zinco policristalino. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos por esses autores, incluindo os valores de potencial de circuito aberto (PCA) medido antes da polarização. Para fins de comparação, os autores também estudaram um policristal de zinco sem textura.

Pela Tabela 1, pode-se verificar que o plano basal apresenta o menor e o plano prismático (11.0) o maior valor da densidade de corrente de corrosão.

Dini [3] também afirma que a intensidade da corrosão de revestimentos de zinco é afetada pela sua textura e cita um exemplo do trabalho de Takeshi et al. citado por Dini [3] que verificou que depósitos de zinco imersos em NaOH apresentam taxas de corrosão menores para a textura basal (00.1) do que para outras texturas.

Park e Szpunar [1] estudaram a resistência à corrosão de eletrodepósitos de zinco obtidos a partir de banhos

contendo $ZnSO_4$ e $(NH_4)_2SO_4$. Variando a densidade de corrente de 3 A/dm² para 50 A/dm², esses autores obtiveram diferentes depósitos, os quais foram caracterizados quanto à textura (por difração de raios X) e quanto à resistência à corrosão em solução de NaCl a 5% desaeurada. Os autores obtiveram as correntes de corrosão por meio de curvas de polarização obtidas com varredura de -250 mV a +250 mV em relação ao potencial de circuito aberto. A Figura 1 mostra os resultados obtidos pelos autores. Pode-se verificar que a corrente de corrosão diminui com o aumento da intensidade da textura (00.1), evidenciando que a textura basal apresenta maior resistência à corrosão. Nesse tipo de textura, o plano basal fica em contato com a solução e, sendo o plano basal a mais compacta, é o mais resistente à corrosão como verificado pelos autores.

O presente trabalho tem por objetivo comparar as características de resistência à corrosão de dois lotes de chapas zincadas, um obtido em banho à base de só cloreto com aditivos e outro obtido em banho à base de sulfato/cloreto tradicional sem aditivos, ambos aplicados em processo contínuo. Esse trabalho é a segunda parte do trabalho já publicado com o mesmo título. Na primeira parte [4], os eletrodepósitos foram caracterizados. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 2.

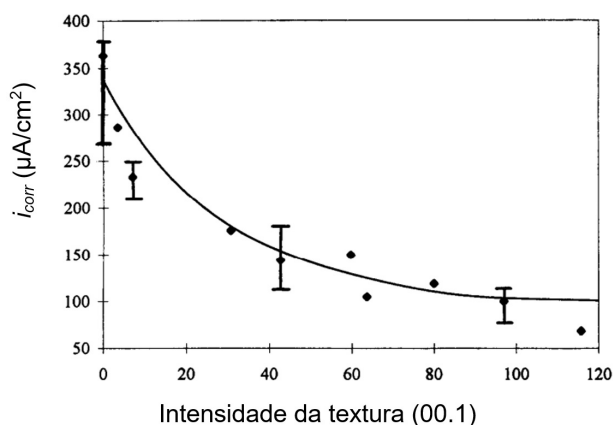


Figura 1. Correlação entre a intensidade da textura basal (00.1) e a densidade de corrente de corrosão de eletrodepósitos de zinco obtidos em banho contendo $ZnSO_4$ e $(NH_4)_2SO_4$ a diferentes densidades de corrente (cada ponto corresponde a média de cinco medidas realizadas). Fonte: Adaptado de Park e Szpunar [1].

Tabela 1. Potencial de circuito aberto e densidade de corrente de corrosão para diferentes planos cristalográficos de três monocristais e um policristal de zinco em NaOH 0,5 mol/L

Plano exposto ao meio	Potencial de circuito aberto (V, ECS*)	Densidade de corrente de corrosão ($\mu A/cm^2$)	Taxa de corrosão calculada ($\mu m/ano$)
Basal (00.1)	-1,485	81	1220
Prismática (10.0)	-1,485	127	1900
Prismática (11.0)	-1,481	261	3890
Policristal	-1,492	160	2390

*ECS: Eletrodo de Calomelano Saturado. Fonte: Adaptado de Ashton e Hepworth [2].

Tabela 2. Características do revestimento de zinco

Característica	Cloreto	Sulfato/cloreto
Aspecto	Brilhante	Fosco
Espessura média (μm)	6,7	3,4
Rugosidade Ra (μm)	0,64	8,03
Tensões residuais	Tração	Ausentes
Tamanho de grão médio (μm)	Nanométrico	3,2
Textura	Prismática com distribuição radial uniforme	Piramidal de baixo ângulo ($35,6^\circ$)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para ambos os revestimento, os ensaios de imersão e os ensaios eletroquímicos foram realizados utilizando como eletrólito uma solução de NaCl 0,35 mol/L de pH 7,2.

O ensaio de imersão com monitoramento do potencial de circuito aberto e exame visual teve como objetivo o acompanhamento do potencial de circuito aberto (PCA) do revestimento de zinco imerso em solução salina. Esperava-se que o referido potencial apresentasse variação perceptível a partir do momento em que o substrato de aço-carbono fosse exposto decorrente do consumo do revestimento de zinco. Para isso, foi necessário utilizar um fio de cobre para contato elétrico e a proteção da região de contato com o fio de cobre. Além disso, foi necessária também a proteção das bordas dos corpos de prova para cobrir o aço-carbono exposto decorrente do corte das chapas zincadas.

Esse ensaio foi realizado em triplicata, usando corpos de prova eletrozincados de dimensões 50 mm \times 50 mm, com um furo de 1 mm de diâmetro, localizado de maneira centralizada e a 2 mm de uma das bordas menores. A região de contato do fio com a chapa zincada e a borda superior foram protegidas, utilizando uma fita isolante líquida marca Quimatic. As demais bordas das chapas foram protegidas com cera de fundição à base de parafina. Essa proteção foi feita imergindo as bordas na cera fundida.

Os corpos de prova assim preparados foram desengraxados com acetona e submetidos à secagem com ar quente. Após a limpeza, esses foram imersos em béqueres de 500 mL, suspensos por meio de uma bagueta de vidro.

Após a colocação da solução de NaCl 0,35 mol/L nos recipientes de ensaio, o potencial de circuito aberto foi medido. Para essa medida, foi utilizado um eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS) e um multímetro marca Fluke modelo 287 com impedância de $10^6 \Omega$. A medição do PCA foi repetida a cada 24 h, até que se percebesse a presença de produtos de corrosão de coloração vermelha o que indicava que o zinco tinha sido consumido pelo menos em parte da superfície dos corpos de prova. Durante as medições, observava-se a superfície dos corpos de prova sem retirá-los do recipiente de ensaio e faziam-se registros fotográficos.

A determinação da taxa de corrosão das camadas de zinco foi feita, em triplicata, por perda de massa. Corpos de

prova de dimensões 5 cm \times 5 cm foram utilizados para essa finalidade. Nesse caso, as bordas dos corpos de prova não foram protegidas, pois essa prática levaria a erros significativos, uma vez que o material de vedação poderia absorver água da solução de ensaio ou poderia haver penetração da solução de ensaio na interface vedante/corpo de prova. Assim sendo, as taxas de corrosão obtidas nesse ensaio são maiores do que as do zinco puro, pois a exposição do substrato de aço nas bordas de corte acelera a corrosão do revestimento de zinco por ação galvânica.

As dimensões dos corpos de prova foram determinadas usando um paquímetro marca Mitutoyo com resolução de 0,02 mm. Em seguida, os corpos de prova foram desengraxados com acetona comercial e suas massas foram determinadas (massa inicial) em uma balança analítica, marca METTLER, modelo XS204 com resolução de 0,0001 g.

A massa final dos corpos de prova foi determinada após a retirada dos produtos de corrosão que foi feita imergindo os corpos de prova ensaiados, por 5 min, em solução de NH_4OH (150 mL de NH_4OH concentrado P.A. em 1000 mL de água deionizada), solução essa recomendada pela norma ASTM G1 [5]. Com os valores de massa inicial e massa final, calculou-se a taxa de corrosão.








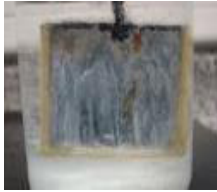




Três corpos de prova de cada tipo de chapa zincada foram submetidos ao ensaio de exposição à névoa salina, segundo NBR 8094 [6], em câmara de marca Equilam modelo Q-Fog, e ao ensaio em câmara úmida em uma câmara de umidade saturada, de acordo NBR 8095 [7]. Nesse último, a câmara utilizada foi de marca Equilam, modelo KEUM. Os corpos de prova foram avaliados a olho desarmado e seu aspecto superficial foi registrado por meio de fotografias.

3 RESULTADOS

A Tabela 3 mostra o aspecto de um dos três corpos de prova ensaiados imersos em solução de NaCl 0,35 mol/L com os respectivos valores do PCA para diferentes tempos de imersão. Apesar das medidas terem sido realizadas a cada 24 h, nem todos os resultados foram apresentados. Lembra-se que esses corpos de prova estavam com todas as superfícies de corte protegidas (furo e bordas) para evitar a ação galvânica do par aço/zinco. Para efeito de comparação, foram feitas medidas de PCA de uma chapa de zinco puro e de uma chapa de aço (após a remoção da camada de zinco) em solução de NaCl 0,35 mol/L. Os valores obtidos após 30 min foram: -1,073 V (ECS) para o zinco e -0,641 V (ECS) para o aço.

Pode-se verificar pela Tabela 3 que, após 48 h de ensaio, ambos os revestimentos já apresentavam sinais de corrosão da camada de zinco evidenciados pelas manchas de escorrimento observadas na superfície dos revestimentos e a presença de produtos brancos no fundo dos recipientes de ensaio. A corrosão do zinco foi intensificada até decorridas 216 h de ensaio. Isso pode ser percebido pelo aumento das manchas de escorrimento e pela presença de produtos brancos na superfície dos corpos de prova. Cita-se que, visualmente,

Tabela 3. Aspecto visual e PCA do aço zincado em banho de cloreto e de sulfato/cloreto

t (h)	PCA (V, ECS)		t (h)	PCA (V, ECS)	
	Cloreto	Sulfato/cloreto		Cloreto	Sulfato/cloreto
0			216		
	-1,039	-1,040		-1,045	-1,035
48			312		
	1,078	-1,069		-0,761	-0,701
168			336		
	-1,042	-1,049		-0,775	-0,687

foi verificado aumento gradativo da quantidade de produtos brancos no fundo dos recipientes de ensaio. É importante mencionar que nenhum ponto de corrosão vermelha foi observado até esse momento.

Observando os valores de PCA indicados na Tabela 3, verifica-se que, até 216 h de ensaio, os mesmos foram mais negativos do que -1 V (ECS). Esses valores são típicos do zinco e indicam que o substrato de aço ainda não estava exposto o suficiente para causar alguma interferência o que está de acordo com o exame visual descrito.

Quando o ensaio completou 312 h, todos os corpos de prova apresentavam valores de PCA mais positivos, indicando que o substrato estava começando a ser exposto. O revestimento obtido em banho de sulfato/cloreto já apresentava corrosão vermelha bem visível. Após 336 h, ambos os revestimentos apresentavam sinais visíveis de corrosão vermelha.

Analisando os dados da Tabela 3, é possível observar que o comportamento dos dois tipos de revestimento foi muito parecido, tendo a corrosão branca e vermelha iniciadas no mesmo período e os valores de PCA muito próximo um do outro. Isso mostra que o consumo do revestimento de zinco cloreto com espessura maior (média de $6,7 \mu\text{m}$) ocorreu em um tempo praticamente igual ao consumo do revestimento de zinco sulfato/cloreto de espessura menor (média de $3,4 \mu\text{m}$). Isso mostra que a taxa de corrosão do revestimento de zinco cloreto foi maior.

Na Figura 2, estão apresentados os resultados da taxa de corrosão por perda de massa das camadas de zinco estudadas em solução de NaCl 0,35 mol/L. Cita-se que esse

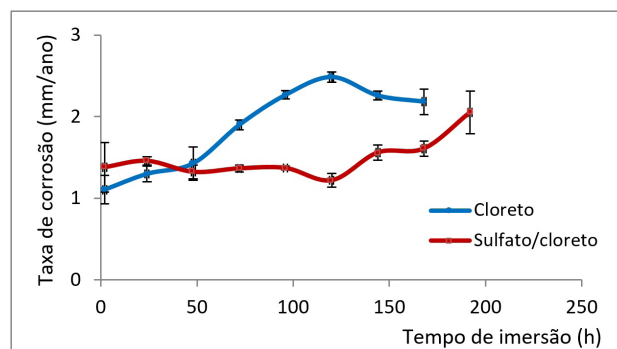


Figura 2. Taxa de corrosão obtida por perda de massa em função do tempo de imersão dos revestimentos de zinco em solução NaCl 0,35 mol/L.

ensaio foi interrompido quando o substrato de aço começou a apresentar corrosão vermelha. Nesse sentido, pode-se verificar que o ensaio do revestimento de zinco cloreto foi interrompido antes do revestimento sulfato/cloreto, pois apresentou corrosão vermelha antes, a despeito de ser o revestimento mais espesso. É possível observar ainda que, inicialmente (após 2 h e 24 h de ensaio), a taxa de corrosão do revestimento de zinco sulfato/cloreto é ligeiramente superior à do revestimento de zinco cloreto. No entanto, a taxa de corrosão do revestimento cloreto aumenta com o tempo de imersão até 120 h e depois diminui ligeiramente, enquanto que a taxa de corrosão do revestimento sulfato/cloreto mantém-se praticamente constante e começa a subir

após 120 h. Como consequência, a taxa de corrosão do revestimento cloreto assume valores superiores ao do revestimento sulfato/cloreto após 48 h.

A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam o aspecto visual de um dos três corpos de prova dos revestimentos de zinco cloreto e de sulfato/cloreto expostos à névoa salina

e à umidade saturada, respectivamente. Os ensaios foram conduzidos até o aparecimento de corrosão vermelha em ambos os tipos de revestimento.

Pela Tabela 4 e pela Tabela 5, pode-se observar que o aparecimento da corrosão vermelha ocorreu após 72 h no ensaio em câmara de névoa salina e após 1444 h no

Tabela 4. Aspecto visual de um dos três corpos de provas zincados expostos à câmara de névoa salina









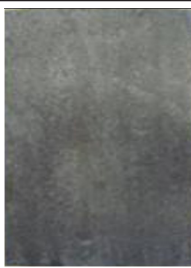
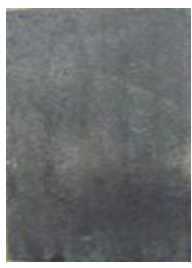

t (h)	Cloreto	Sulfato/cloreto	t (h)	Cloreto	Sulfato/cloreto
0			48		
	Aspecto antes do início do ensaio	Aspecto antes do início do ensaio		Intensificação da corrosão branca	Início da corrosão vermelha
24			72		
	Início da corrosão branca	Início da corrosão branca		Início da corrosão vermelha	Intensificação da corrosão vermelha

Tabela 5. Aspecto visual dos corpos de provas zincados expostos à câmara úmida

t (h)	Cloreto	Sulfato/cloreto	t (h)	Cloreto	Sulfato/cloreto
0			336		
	Aspecto antes do início do ensaio	Aspecto antes do início do ensaio		Início da corrosão branca	Intensificação da corrosão branca
48			1444		
	Escurecimento da superfície e da perda do brilho	Início da corrosão branca		Início da corrosão vermelha	Intensificação da corrosão vermelha

ensaio em câmara úmida. Isso mostra a grande diferença de agressividade do ensaio em câmara úmida em relação ao ensaio em câmara de névoa salina.

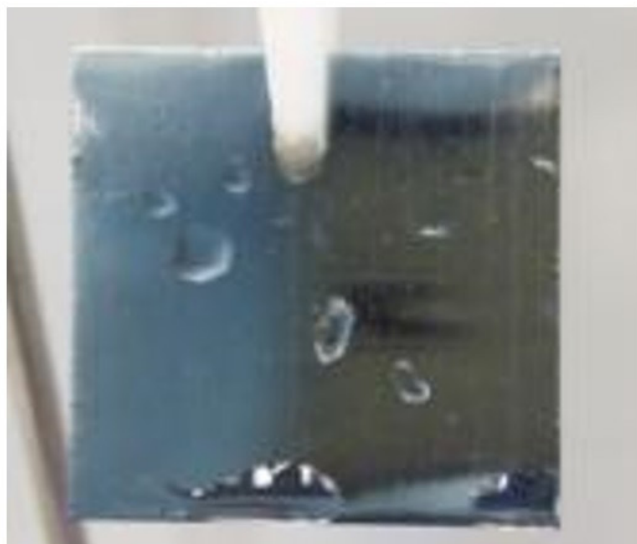
Pela Tabela 4, pode-se observar que a corrosão vermelha do substrato apareceu após 48 h no revestimento sulfato/cloreto e, após 72 h, no revestimento cloreto. Esse comportamento era esperado uma vez que a espessura do revestimento de zinco cloreto é maior. No entanto, esperava-se que o aparecimento de corrosão vermelha nesse revestimento ocorresse pelo menos num período de tempo cerca de duas vezes maior, já que a sua espessura era praticamente duas vezes maior do que a espessura de zinco sulfato/cloreto. Isso indica que a camada zinco obtida em banho de cloreto corroeu com uma velocidade maior do que a de zinco obtido em banho de sulfato/cloreto o que está de acordo com os resultados dos ensaios de imersão em solução de NaCl 0,35 mol/L.

Pela Tabela 5, pode-se observar que, após 48 h, ocorreu o escurecimento do revestimento cloreto e início da corrosão branca do revestimento sulfato/cloreto, sendo que o revestimento cloreto apresentou início da corrosão branca somente após 336 h. Após esse período, ambos os revestimentos apresentaram intensificação da corrosão branca com o tempo. Com 1080 h, foi verificado início de corrosão vermelha no revestimento sulfato/cloreto (fotografia não apresentada). A corrosão vermelha no revestimento cloreto ocorreu somente após 1444 h. Esses resultados estão de acordo com os resultados da taxa de corrosão em função do tempo apresentados na Figura 2, em que se notou que inicialmente o revestimento de zinco cloreto apresenta taxa de corrosão menor do que o revestimento sulfato/cloreto. Como na câmara úmida, a agressividade do ensaio de exposição é menor, o melhor desempenho inicial do revestimento obtido em banho de cloreto foi verificado com mais clareza

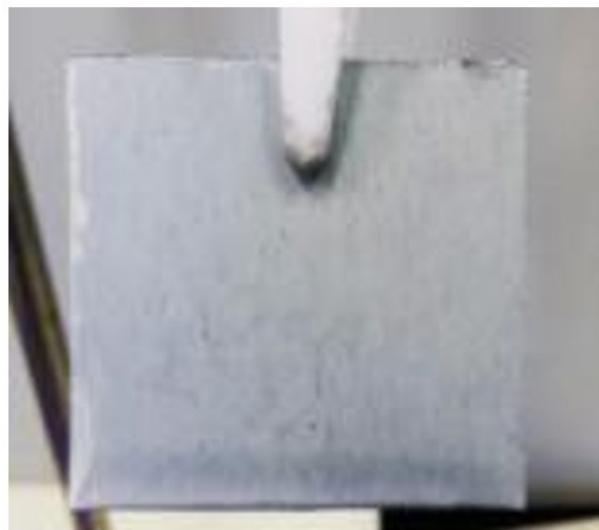
nesse ensaio. No entanto, esse comportamento esperado parece que foi muito intensificado na câmara úmida, visto que o aparecimento da corrosão branca do revestimento cloreto ocorreu muito tempo depois do que o observado para o revestimento sulfato/cloreto. Isso leva a supor que provavelmente outro fator está atuando nesse ensaio.

Cabe mencionar que, no início da exposição dos corpos de prova na câmara úmida, verificou-se que a água condensada na superfície lisa do revestimento cloreto escorria mais facilmente do que na superfície do revestimento rugoso sulfato/cloreto. Isso foi confirmado em um simples experimento em que se imergiram corpos de prova de ambos os revestimentos em água e, depois, observaram-se as superfícies para verificar o escoamento da água. A Figura 3 mostra o aspecto dos corpos de prova imediatamente após a retirada dos mesmos da água. Pode-se observar que, na superfície mais lisa do revestimento cloreto, a água escorreu facilmente deixando apenas algumas gotas, enquanto, na superfície rugosa do revestimento sulfato/cloreto, a água foi retida na forma de um filme fino. As observações dos corpos de prova no início da exposição em câmara úmida e esse ensaio mostram que havia disponibilidade de eletrólito na superfície do revestimento de zinco sulfato/cloreto desde o início do ensaio. O revestimento cloreto por sua vez começou a reter água após o início da corrosão que tornou sua superfície mais rugosa. Esse fato deve ter sido o responsável para prolongar de maneira significativa o início da corrosão branca do revestimento cloreto.

Voltando para a Tabela 5, pode-se verificar que após 1444 h, os dois revestimentos apresentaram início de corrosão vermelha (pontos assinalados por setas). Esses resultados mostram que, após o início da corrosão branca, muito provavelmente, a taxa de corrosão do revestimento cloreto aumentou, ultrapassando a do revestimento sulfato/cloreto,



Cloreto



Sulfato/cloreto

Figura 3. Aspecto visual dos revestimentos imediatamente após a imersão em água.

pois mesmo tendo uma espessura 50% superior ao do revestimento sulfato/cloreto, o tempo de aparecimento de corrosão do substrato de ambos foi semelhante.

4 DISCUSSÃO

O ensaio de monitoramento do potencial de corrosão e os ensaios acelerados de corrosão apresentaram resultados concordantes com os dos resultados dos ensaios conduzidos para a determinação da taxa de corrosão. Várias razões podem explicar a maior taxa de corrosão do revestimento cloreto obtida nos ensaios de corrosão.

Primeiramente a textura: conforme mencionado na introdução, os planos mais compactos são os mais resistentes à corrosão e o plano basal, a mais compacta da estrutura cristalina do zinco, é aquela que apresenta a menor taxa de corrosão. O revestimento de zinco sulfato/cloreto tem uma boa porção do seu plano basal exposta ao meio [4] e a sua textura aproxima-se mais do plano basal, visto que o ângulo entre o plano basal (00.1) e o plano (10.3) é de 35,6° (Tabela 2). Já a textura prismática do revestimento de zinco cloreto faz com que somente o plano prismático fique em contato com o meio corrosivo. A Tabela 1 mostra claramente que os planos prismáticos são aqueles que apresentam as maiores taxas de corrosão. Posto isso, era de se esperar que a taxa de corrosão do revestimento cloreto fosse maior do que a taxa de corrosão do revestimento sulfato/cloreto.

Outro fator que pode ter tido papel importante na maior taxa de corrosão do revestimento de zinco cloreto é a presença de tensões residuais de tração nesse revestimento (Tabela 2). Tais tensões, sejam residuais ou aplicadas, causam uma série de problemas aos produtos metálicos, dentro dos quais, podem-se citar a corrosão sob tensão e a corrosão fadiga. No entanto, a simples presença de tensões de tração pode causar a aceleração da corrosão generalizada [8]. Por exemplo, o aço-carbono em solução de cloreto de sódio e na presença de tensões residuais de tração não apresenta corrosão sob tensão, mas sim aceleração da corrosão generalizada nas regiões sujeitas a tensão de tração [8]. Assim sendo, é de se esperar que eletrodepósitos de zinco com tensões residuais de tração apresentem maiores taxas de corrosão.

5 CONCLUSÃO

O revestimento cloreto, apesar de mais espesso (cerca de duas vezes), apresentou desempenho comparável ao do sulfato/cloreto quando exposto a meios corrosivos. A textura cristalográfica diferenciada foi um elemento chave para compreender esse comportamento diferenciado dos dois revestimentos estudados. A textura piramidal do revestimento sulfato/cloreto, contra a textura prismática do revestimento cloreto, favoreceu à sua resistência à corrosão. A presença de tensões residuais de tração do revestimento cloreto foi mais um fator que prejudicou o seu desempenho.

REFERÊNCIAS

- 1 Park H, Szpunar JA. The role of texture and morphology in optimizing the corrosion resistance of zinc-based electrogalvanized coatings. *Corrosion Science*. 1998;40(4-5):525-545.
- 2 Ashton RF, Hepworth MT. Effect of crystal orientation on the anodic polarization and passivity of zinc. *Corrosion*. 1968;24(2):50-53.
- 3 Dini JW. *Electrodeposition: the materials science of coatings and substrates*. Saddle River: Noyes Publications; 1993. 367 p.
- 4 Santos FR, Panossian Z. Estudo comparativo da conformabilidade e da resistência à corrosão de eletrodepósitos de zinco obtidos em banho de cloreto com aditivos e em banho de sulfato/cloreto sem aditivos: parte I. *Tecnologia em Materiais e Mineração*. No prelo.
- 5 American Society for Testing and Materials. G1: standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens. West Conshohocken: ASTM; 2011. 9 p.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8094: material metálico revestido e não revestido corrosão por exposição à névoa salina. Rio de Janeiro: ABNT; 1983. 6 p.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8095: material metálico revestido e não revestido - corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2015. 3 p.
- 8 Panossian Z. *Corrosão e proteção contra a corrosão de equipamentos e estruturas metálicas*. São Paulo: IPT; 1993. 280 p. vol. 1.

Recebido em: 7 Fev. 2017

Aceito em: 14 Jul. 2017