

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

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

ESTUDO DO EFEITO DE MOLÉCULAS AUTO-ORGANIZÁVEIS E DO CRESCIMENTO DE ÓXIDO COM PARTÍCULAS CERÂMICAS DE ZIRCÔNIO NA SUBSTITUIÇÃO DA CROMATIZAÇÃO PARA A PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO DO ALUMÍNIO 1050

Wagner Izaltino Alves dos Santos¹, Solange de Souza², Marcelo de Oliveira³, Daniel Sierra Yoshikawa⁴, Isolda Costa⁵

Abstrac

Chromating in baths with Cr VI is one of the most used and effective surface treatments against corrosion for aluminum and its alloys. However, the toxicity of Cr VI has encouraged the search for new chromium free surface treatments. These new treatments must provide corrosion resistance and be environmentally friendly, to replace the Cr VI containing treatments, and it has been difficult to find an alternative treatment that replaces yellow chromating with similar corrosion protection efficiency. The aim of the present study is to investigate the effect of two surface treatments, one with self-assembling molecules (SAM) and the other based on controlled aluminum oxide growth (boehmitization) associated with zirconium ceramic particles, on the corrosion protection of the aluminum 1050. The results were compared with that of yellow chromating to evaluate the potentiality of the chromium free surface treatments for replacement of the Cr VI containing one. Aluminum 1050 samples with various surface treatment conditions were tested. The aluminum 1050 surfaces were initially prepared by alkaline degreasing, and then the following surface treatments were applied: immersion in SAM solution, boehmitization, boehmitization and then immersion in SAM solution, boehmitization associated with zirconate particles, boehmitization associated with zirconate particles followed by immersion in SAM solution, and yellow chromating. The effect of all surface treatments on the corrosion resistance of aluminum 1050 was investigated by salt spray tests with samples either with or without organic coating (enamel). The treatments associated with the best corrosion resistances were: boehmitization followed by immersion in SAM, boehmitization associated with zirconate particles and boehmitization associated with zirconate particles followed of immersion in SAM. These results point to the potentiality of the boehmitization process combined with other treatments for the replacement of yellow chromating treatments.

Resumo

Entre os tratamentos de conversão mais efetivos e vastamente utilizados para o alumínio e suas ligas encontra-se a cromatização com íons de Cr VI. Entretanto, a elevada toxicidade dos rejeitos que contêm Cr VI, típica deste processo, tem incentivado a busca por novos processos de tratamento superficial. Estes novos tratamentos devem apresentar menor toxicidade, ao mesmo tempo, serem efetivos para proteção contra a corrosão. Este trabalho teve como objetivo investigar

¹Mestrando - Professor – IPEN - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares

²Doutora - Pesquisadora – IPEN - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares

³Analista Químico – IPEN - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares

⁴Mestrando - Pesquisador – IPEN - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares

⁵Doutora – Professora - IPEN - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares

a potencialidade de vários tratamentos superficiais para substituição daqueles com Cr hexavalente. Todas as amostras ensaiadas tiveram suas superfícies previamente preparadas por desengraxe alcalino sendo em seguida adotados os seguintes tratamentos: imersão em solução com moléculas auto-organizáveis (*SAM-Self Assembling Molecules*), crescimento controlado de óxido de alumínio (*Boehmitization*), *Boehmitization* seguido de imersão em solução com SAM, *Boehmitization* associado com partículas cerâmicas de zircônio, *Boehmitization* associado com partículas cerâmicas de zircônio seguido por imersão em solução com SAM, e cromatização. Todos os tratamentos testados sobre alumínio 1050 foram avaliados por ensaios de névoa salina com e sem revestimento orgânico (tinta). A resistência à corrosão dos sistemas testados foi comparada com do revestimento com Cr VI, e os tratamentos que apresentaram potencialidade para substituição da cromatização foram os de crescimento controlado de óxido (*Boehmitization*) combinados com outros tratamentos.

Palavras-chaves: alumínio 1050, moléculas auto-organizáveis, partículas cerâmicas de zircônio, corrosão, cromatização.

Introdução

Nesse trabalho foram avaliados processos com o uso de moléculas auto-organizáveis (SAM), crescimento de óxido hidratado (*Boehmitization*), e uso de partículas cerâmicas de zircônio. Sete sistemas foram testados: superfície desengraxada, imersão em solução com SAM, crescimento controlado de óxido, crescimento controlado de óxido seguido de imersão em solução com SAM, crescimento controlado de óxido associado com partículas cerâmicas de zircônio (zirconato), crescimento controlado de óxido associado com partículas de zirconato seguido de imersão em solução com SAM e processo de cromatização com Cr VI. Todos os sistemas foram avaliados com e sem revestimento orgânico (verniz).

O objetivo geral desse trabalho foi investigar a potencialidade dos tratamentos testados para substituição do processo de cromatização, utilizado alumínio 1050, avaliando os efeitos da resistência a corrosão dos sistemas por ensaio de névoa salina ASTM B117.

Revisão bibliográfica

As exigências atuais referentes ao tratamento final de resíduos dos processos industriais impulsionam a busca por tecnologias com baixa agressividade ao meio ambiente. Alumínio e suas ligas são freqüentemente tratados em soluções de ácido crômico para atenuar a oxidação e melhorar a aderência entre o substrato e a tinta. Devido à alta toxicidade envolvida no manuseio e destinação final de compostos à base de cromo, resultantes do processo de cromatização, vários processos de tratamentos superficiais estão sendo estudados (1-7).

Tratamentos à base de terras raras, principalmente cério (1,2), com moléculas auto-organizáveis de compostos alcano difosfonados (3,4), crescimento controlado de óxido de alumínio (5), tratamentos nanocerâmicos a base de zircônio (6), tratamentos com silanos (2, 6, 7) são algumas alternativas estudadas para substituição do processo de cromatização com Cr hexavalente.

Monocamadas auto-organizáveis adsorvem em superfícies metálicas ativas e formam espontaneamente uma estrutura organizada devido a forças de Van der Waals de seus radicais, quando o substrato metálico é imerso em solução de moléculas surfactantes (8, 9).

O crescimento artificial de camada óxido por imersão em água fervente é usado com o objetivo de aumentar a resistência à corrosão pela selagem dos poros da camada formada em ligas de alumínio após processos de anodização (10). A associação de camadas de óxido crescidas artificialmente

seguidas de tratamento com moléculas auto-organizáveis tem mostrado boas propriedades a resistência à corrosão em ligas de alumínio (4,11).

A nanotecnologia em tratamentos de superfície, com destaque para tratamentos a base de zircônio, é outra alternativa que tem apresentado melhoria significativa em relação a impactos ambientais e boas propriedades relacionadas à resistência à corrosão (6,12). Os tratamentos a base de zircônio, podem ser realizados através de processo sol-gel (13) ou banhos com flúor/zircônio (6,12,14).

A literatura indica que a associação de camadas auto-organizáveis com nanocerâmicas de zircônio resulta na formação de um filme nanoíbrido de base orgânica-inorgânica (15). Tal filme poderia permitir a adsorção de moléculas auto organizáveis sobre filmes de ZrO_2 . As pesquisas mostram a crescente busca por tecnologias alternativas a tratamentos que sejam agressivos ao ambiente e o presente trabalho tem também esta preocupação.

Materiais e Métodos

Corpos-de-prova de alumínio 1050, cuja composição química é mostrada na Tabela 1, tiveram suas superfícies preparadas por lixamento com papel de carbetto de silício até #400, seguido por enxágüe com água deionizada e secagem ao ar. Na sequência, as amostras foram submetidas aos tratamentos identificados por: (1) SR, (2) SAM, (3) OX, (4) OS, (5) OZ, (6) OZS e (7) CR, detalhados na Tabela 2. Todos os corpos-de-prova tratados segundo os processos indicados por SAM, OX, OS, OZ, OZS e CR, foram anteriormente submetidos ao tratamento SR.

Após preparação da superfície, alguns dos corpos-de-prova foram recobertos com um revestimento orgânico (verniz) de secagem rápida à base de poliéster e, após secagem do revestimento, foi realizado um risco vertical em algumas das amostras com revestimento para exposição do substrato, antes de exposição ao ensaio de névoa salina. A aplicação do revestimento foi realizada pelo processo de imersão *dip coating*, com velocidade controlada de entrada e saída de 10 cm/min. Os corpos-de-prova foram imersos uma única vez no verniz durante dois minutos, e secado em estufa a 60 °C por cinco minutos.

Ensaio de corrosão acelerada foram realizados em câmara de névoa salina de acordo com a norma ASTM B117 (16). A evolução da corrosão na superfície exposta dos corpos-de-prova foi registrada ao longo do ensaio com auxílio de câmera digital.

Resultados e Discussões

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os resultados do ensaio de névoa salina do alumínio 1050 com os vários tratamentos de superfície testados (SR, SAM, OX, OS, OZ, OZS e CR), sem revestimento orgânico, antes e após 168 h de exposição em câmara de névoa salina. Esses resultados mostraram que todos os tratamentos proporcionaram uma melhoria na resistência à corrosão, em comparação ao corpo-de-prova sem tratamento (SR), observando-se a seguinte ordem decrescente de resistência à corrosão dos tratamentos testados: CR > OZS > OS > OZ = OX > SAM = SR. Tal ordem é melhor observada no gráfico da Figura 3, onde foram utilizados parâmetros especificados na Tabela 3 para classificar a resistência ao ataque corrosivo.

A amostra tratada com moléculas auto-organizáveis (SAM), todavia, não mostrou melhor desempenho em relação à amostra testada apenas com desengraxe, ou seja, sem tratamento superficial para formação de revestimento (SR).

Sabendo que as moléculas auto-organizáveis usadas têm grande afinidade com óxido de alumínio (17), foi investigado também o efeito do crescimento controlado de óxido (OX), também chamado neste trabalho de *Boehmitization*, o qual proporcionou uma melhora significativa na resistência a corrosão do alumínio 1050. O tratamento para crescimento controlado de óxido (*Boehmitization*)

seguido de tratamento com moléculas auto-organizáveis (OS) mostrou resistência à corrosão superior em relação às amostras com os tratamentos SR, SAM e OX.

Neste trabalho, foi testado também um novo tratamento superficial para o alumínio que consistiu no de crescimento do óxido (*Boehmitization*) associado com partículas cerâmicas de zircônio. Sabe-se que o óxido na superfície de alumínio tem caráter duplex, composto de uma camada interna fina e compacta, e de outra camada mais externa, espessa e porosa (4,18). O objetivo do tratamento testado era investigar se a associação de partículas cerâmicas de zircônio com o crescimento de óxido artificialmente permitiria a deposição das nanopartículas cerâmicas de zircônio nos poros da camada de óxido. Os resultados mostraram um efeito benéfico deste tratamento na resistência à corrosão da liga de alumínio em comparação com os tratamentos identificados como (SR) e (SAM). Em relação aos corpos-de-prova com o tratamento (OX), a resistência à corrosão do tratamento OZ foi similar. Por sua vez, o tratamento que consistiu no crescimento controlado de óxido com nanopartículas de zirconato seguido por imersão em solução com moléculas auto-organizáveis (OZS) apresentou propriedade de resistência à corrosão similar ao tratamento de conversão de cromato (CR) e superior a todos os outros tratamentos testados.

As Figuras 4 e 5 são referentes aos resultados de ensaio acelerado em câmara de névoa salina dos diferentes sistemas (SR, SAM, OX, OS, OZ, OZS e CR) com revestimento orgânico, porém nas amostras sem risco para exposição do substrato, antes e após 168 h de ensaio. Os resultados mostraram que os corpos-de-prova com os tratamentos (OX), (OS) e (OZ) mostraram desempenhos de resistência à corrosão, similares entre si e superiores aos demais tratamentos, inclusive ao tratamento de cromatização com cromo hexavalente.

O gráfico apresentado na Figura 6 foi obtido adotando-se os parâmetros indicados na Tabela 3 no sentido de se classificar os vários tratamentos testados e pelos resultados obtidos, sugere-se que o desempenho dos tratamentos testados obedece à seguinte ordem de resistência a corrosão: $OZ = OS = OX > CR > OZS > SAM = SR$. Tais resultados podem ser explicados pela maior espessura da camada externa, hidratada e porosa sobre as amostras com óxido crescido artificialmente, o que proporcionaria melhor ancoragem ao revestimento orgânico e, também, pelas moléculas auto-organizáveis adotadas neste estudo serem bifuncionais, possuindo um grupo funcional com forte atração pelo óxido de alumínio, sendo adsorvidas nesta, enquanto o outro grupo funcional tem a função de interagir com revestimentos orgânicos, proporcionando maior ancoragem e, conseqüentemente, maior aderência entre o substrato e o revestimento de cobertura (19).

Nas Figuras 7 e 8, são apresentados os resultados de exposição à névoa salina (ASTM B117) das amostras preparadas com os tratamentos (SR, SAM, OX, OS, OZ, OZS e CR), revestidas com verniz e com risco realizado com o auxílio de lâmina de corte, antes e após 168 h em câmara de ensaio acelerado. No gráfico da Figura 9, obtido adotando-se os parâmetros da Tabela 3, é mostrado o desempenho estimado de cada corpo-de-prova na região próxima ao defeito (risco), sendo possível classificar os vários tratamentos testados em ordem decrescente de resistência à corrosão segundo: $OX > OS = OZ > OZS = CR > SAM = SR$. Estes resultados sugerem que, quando há substrato exposto na região do risco, o tratamento com SAM pode ser prejudicial, o que é explicado pela acidez da solução com SAM que causa o ataque do substrato, principalmente nas regiões de interface entre os precipitados e a matriz de alumínio. A remoção das moléculas adsorvidas, que aumentam a aderência entre o substrato e o revestimento por sua vez, evita que o efeito benéfico do tratamento com SAM na cobertura do substrato seja efetivo. Além disso, a solução ácida de SAM tem um efeito de ataque leve da camada de óxido o que deve resultar em menor resistência na região descoberta do substrato.

Os resultados obtidos com corpos-de-prova com revestimento orgânico indicam que o crescimento controlado de óxido sobre o alumínio 1050, após uma preparação adequada da superfície por desengraxe e desoxidação, resulta em desempenho frente à corrosão superior ao cromato, na região próxima ao risco. Todavia, para avaliação da resistência à corrosão na região do substrato exposta

pelo risco, outros ensaios, como o de espectroscopia de impedância eletroquímica, devem ser realizados. Deve-se ressaltar que nenhum dos tratamentos testados resulta em revestimentos com a propriedade de auto-selagem em regiões de defeitos no revestimento (*self-healing*), característica dos revestimentos com cromo hexavalente.

Conclusões

Os tratamentos propostos neste trabalho mostraram melhorias significativas das propriedades de resistência à corrosão do alumínio 1050. O crescimento controlado de óxido (*Boehmitization*) por imersão do alumínio em água deionizada ou em solução com nanopartículas cerâmicas de zircônio, em ebulição por período de 20 minutos resultou em significativa melhoria na resistência à corrosão do alumínio 1050. A associação do tratamento de crescimento controlado de óxido com nanopartículas de zirconato mostrou aumento da resistência à corrosão e o uso deste último processo associado com a imersão em solução com moléculas auto-organizáveis levou a resultados similares aos obtidos com tratamento à base de cromo hexavalente. Do ponto de vista de resistência à corrosão, sem considerar-se a propriedade autosecante dos revestimentos com cromo hexavalente, os tratamentos que resultaram no crescimento de óxido, seja este sozinho ou em combinação com outros tratamentos, mostraram potencialidade para substituir o tratamento de cromatização com cromo hexavalente.

Agradecimentos

Agradecimentos à FAPESP pelo auxílio financeiro a este projeto (Processo 2004/12189-1).

Referências bibliográficas

1. PALOMINO L.E.M., AOKI V.I., DE MELO H.G., Microstrutural and electrochemical characterization of Ce conversion layers formed on Al alloy 2024-t3 covered with Cu-rich smut, **Electrochimica Acta**, v. 51, p. 5943, 2006.
2. PALOMINO L.E.M., SUEGAMA P.H., AOKI I.V., MONTEMOR M.F., DE MELO H.G., Electrochemical study of modified non-functional bis-silane layers on Al alloy 2024-T3, **Corrosion Science**, v. 50, p. 1258-1266, 2008.
3. REIS F.M., DE MELO H.G., COSTA I., EIS investigation on Al 5052 alloy surface preparation for self-assembling monolayer, **Electrochimica Acta**, v. 51, p.1780-1788, 2006.
4. YOSHIKAWA D.S., ASSIS S.L., IZALTINO W.A.S., SOUZA S., COSTA I., Estudo do comportamento de corrosão da liga 5052 tratada com moléculas auto-organizáveis, **Tratamento de Superfície**, v. 1, p. 24-29, 2009.
5. SOUZA S., YOSHIKAWA D.S., ASSIS S.L., IZALTINO W.A.S., COSTA I., Efeito de tratamento com moléculas auto-organizáveis no comportamento de corrosão da liga de alumínio AA2024-T3, **In: 11o Seminário de Metais Não-Ferrosos, 2009**, São Paulo. 11o Seminário de Metais Não-Ferrosos. São Paulo : Editora TecArt Ltda., 2009. v. 1. p. 215-225.

6. BOSSARDI K., **Nanotecnologia aplicada a tratamento superficiais para o aço carbono 1020 como alternativa ao fosfato de zinco**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrando em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
7. HINTZE P.E., CALLE L.M., Electrochemical properties and corrosion protection of organosilane self-assembled monolayers on aluminium 2024-T3, **Electrochimica Acta**, 51, p.1761-1766, 2006.
8. SCHREIBER, F., Structure and growth of self-assembling monolayers, **Progress in Surface Science**, 65, p.151-256, 2000.
9. FELHÖSI I., TELEGDI, J., PÁLIKÁNS, G., KÁLMÁN, E., Kinetics of self-assembled layer formation on iron, **Electrochimica Acta**, 47, p. 2335-2340, 2002.
10. BALTAT-BAZIA, A.; CELATI, N.; KEDDAN, M.; TAKENOUTI, H.; WIART, R. Electrochemical impedance spectroscopy and electron microscopies applied to the structure of anodic oxide layers on pure aluminium. **Materials Science Forum**, v. 111-112, p. 359-368, 1992.
11. IZALTINO W.A.S., ASSIS S.L., SOUZA S., YOSHIKAWA D.S., COSTA I., Self assembling molecules as corrosion inhibitors for the 1050 aluminium alloy, **In: EUROCORR 2009 - The European Corrosion Congress**, Nice, v. 1, 2009.
12. DRONIOU P., FRISTAD W.E., Nanoceramic-based conversion coating: ecological and economic benefits position process as a viable alternative to phosphating systems, **Organic Finishing**, v. 103, n. 12, p. 41-43, 2005.
13. WATANABE K., SAKAIRI M., TAKAHASHI H., HIRAI S., YAMAGUCHI C., Formation of Al-Zr composite oxide films on aluminium by sol-gel coating and anodizing, **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 473, p. 250-255, 1999.
14. LUNDER O., SIMENSEN C., YU Y., NISANCIOGLU K., Formation and characterization of Ti-Zr based conversion layers on AA6060 aluminium, **Surface and Coatings Technology**, v. 184, p. 278-290, 2004.
15. LEE B.H., IM K.K., LEE K.H., IM S., SUNG M.M., Molecular layer deposition of ZrO₂-based organic-inorganic nanohybrid thin films for organic thin film transistors, **Thin Solid Films**, v. 517, p. 4056-5060, 2009.
16. ASTM B-117; Methods of Salt-Spray (Fog) Testing, Annual **Book of ASTM Standards**, vol. 03.02, (Philadelphia, PA: ASTM)
17. MAEGE, I.; JAEHNE, E.; HENKE, A.; ADLER, H-J. P.; BRAM, C.; STRATMANN, M. Self-assembling adhesion promoters for corrosion resistant metal polymer interface. **Progress In Organic Coatings**, v. 34, p. 1-12, 1998.
18. SHIMIZU K., FURNEAUX R.C, THOMPSON G.E, WOOD G.C., GOTOH A., KOBAYASHI K., Oxidation of aluminium, **Oxid. Met.** v. 35, p. 427, 1991.

19. STEWART K.R., WHITESIDES G.M., GODFRIED H.P., SILVERA I.F., Improved adhesion of thin conformal organic films to metal surfaces, **Rev. Scientif. Instrum.**, v. 57, p. 1381, 1986.

20. SZURKALO M., ASSIS S.L., BANZECK E.P., COSTA I., Investigação da resistência a corrosão da liga de alumínio 1050 tratada com moléculas auto-organizáveis, **In: 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Porto de Galinhas, v. 1, 2008.

Tabelas e Figuras

Tabela 1. Composição química % (massa) dos elementos do alumínio 1050 (20).

Fe	Cu	Mg	Mn	Si	Sn*	Zn*
0,339	0,009	0,037	0,011	0,177	<0,183	57,58

(*) – concentração em ppm

Tabela 2. Tratamentos realizados nos corpos-de-prova de alumínio 1050.

Tratamento	Descrição
SR	1ª etapa: desengraxe em solução de baixa alcalinidade. 2ª etapa: desengraxe em solução de alta alcalinidade. 3ª etapa: desoxidação em solução ácida. O tempo de imersão adotado em cada etapa e a temperatura das soluções foram 3 min e $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$, respectivamente. Entre cada etapa, os corpos-de-prova foram enxaguados com água deionizada em ultrassom por 5 minutos.
SAM	SR seguido por imersão durante 3 h em solução com 90 ppm de alciano difosfonato $[\text{PO}(\text{OH})_2-(\text{CH}_2)_n-\text{PO}(\text{OH})_2]$, no qual $(10 < n < 12)$, (Gardobond X4661), a $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$.
OX	SR seguido por imersão durante 20 min em água em ebulição.
OS	SR seguido por imersão durante 20 min em água em ebulição, seguido por imersão durante 3 h em solução com 90 ppm de alciano difosfonato, a 40°C .
OZ	SR seguido por imersão durante 20 min em solução aquosa de 1g/L de partículas cerâmicas de zircônio (ZrO_2) em ebulição e constante agitação.
OZS	SR seguido por imersão durante 20 min em solução aquosa de 1g/L de partículas cerâmicas de zircônio (ZrO_2) em ebulição e constante agitação, seguido por imersão durante 3 h em solução com 90 ppm de alciano difosfonato, a 40°C .
CR	SR seguido por imersão durante 3 min em solução passivante de cromo hexavalente, a $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ e $\text{pH} = 3,7$.

Tabela 3. Parâmetros base para identificação do nível de desempenho das amostras.

Condições da amostra	Níveis
Isenta de Corrosão (Sem pites)	10
Pouquíssima corrosão (ex.: de 1 a 5 pontos de corrosão - pites)	9
Pouca Corrosão (ex.: de 6 a 10 pontos de corrosão - pites)	8
Leve corrosão (ex.: de 11 a 15 pontos de corrosão - pites)	7
Média corrosão (ex.: de 16 a 20 pontos de corrosão - pites)	6
Média - Alta corrosão (ex.: de 21 a 25 pontos de corrosão - pites)	5
Alta corrosão (ex.: de 26 a 30 pontos de corrosão - pites)	4
Leve corrosão generalizada (ex.: de 31 a 50 pontos de corrosão - pites - ou um substrato com em média $\frac{1}{4}$ de sua superfície corroída)	3
Baixa corrosão generalizada (ex.: de 51 a 100 pontos de corrosão - pites - ou um substrato com em média $\frac{1}{3}$ de sua superfície corroída)	2
Média corrosão generalizada (ex.: de 101 a 250 pontos de corrosão - pites - ou em média um substrato com $\frac{1}{2}$ de sua superfície corroída)	1
Alta corrosão generalizada (ex.: mais de 250 pontos de corrosão - pites - ou superfície toda manchada)	0

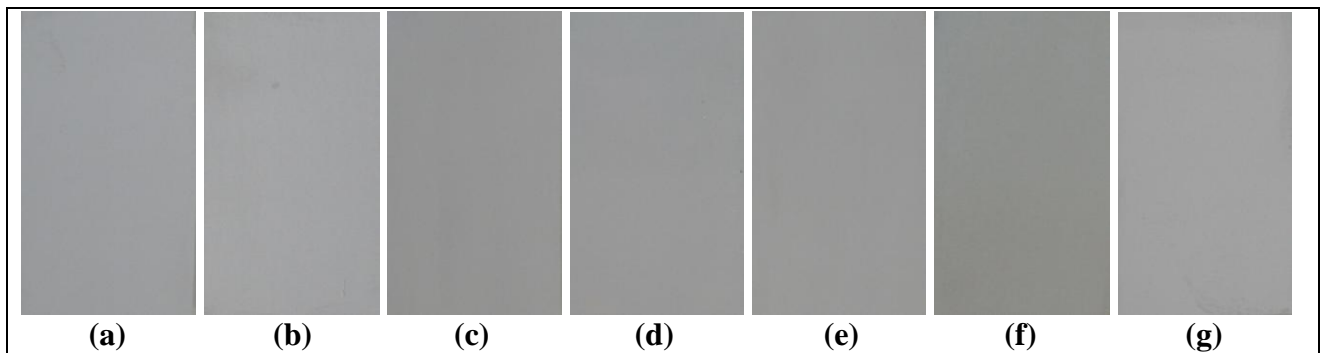
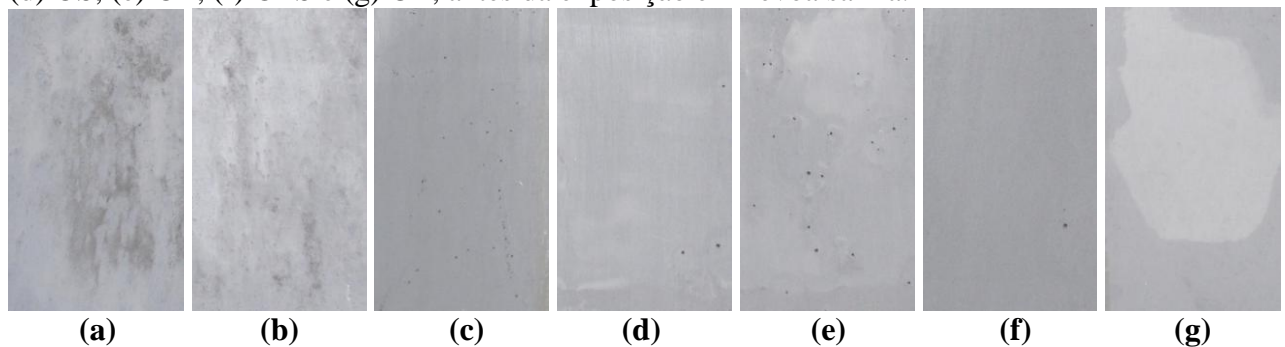
**Figura 1.** Superfícies das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR, antes da exposição em névoa salina.**Figura 2.** Superfícies das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR, sem revestimento orgânico após 168h de ensaio em névoa salina.



Figura 3. Gráfico de desempenho dos corpos-de-prova sem revestimento orgânico após 168 h de ensaio de névoa salina.

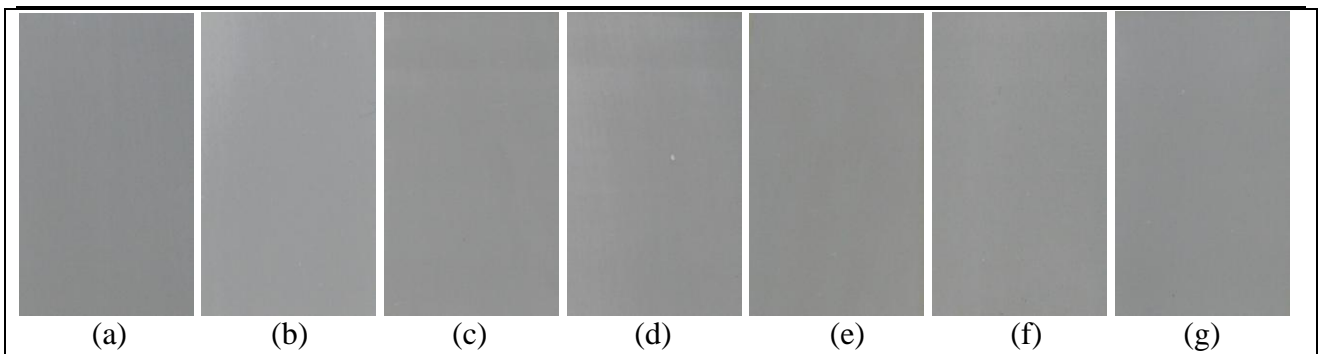


Figura 4. Superfície das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR, com revestimento orgânico antes de exposição em névoa salina.

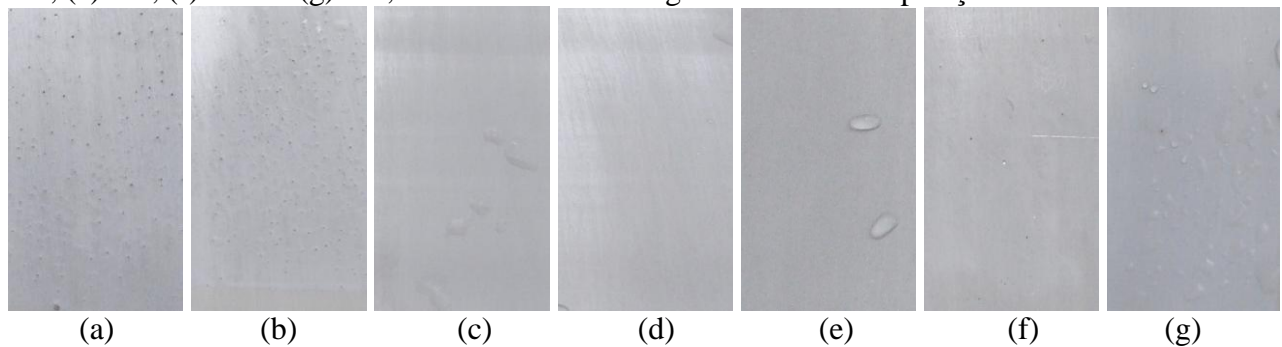


Figura 5. Superfície das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR, com revestimento orgânico após 168 h de exposição em névoa salina.

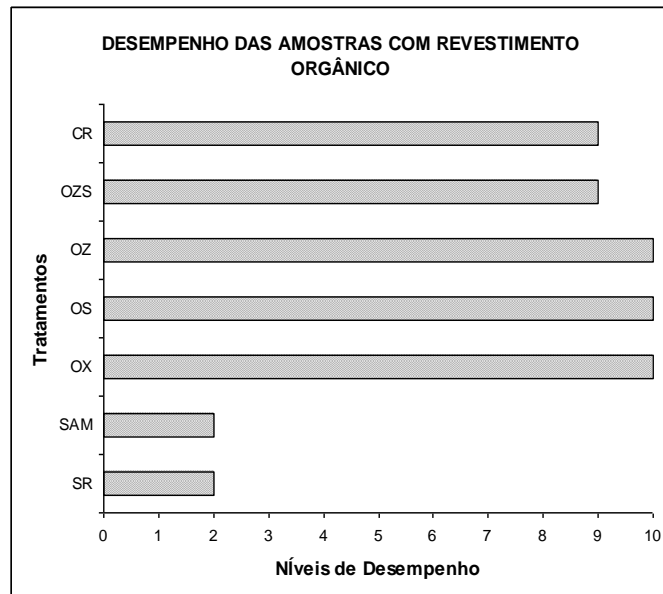


Figura 6. Gráfico de desempenho dos corpos-de-prova com revestimento orgânico após 168 h de exposição em ensaio de névoa salina (resultados obtidos com base em parâmetros indicados na Tabela 3).

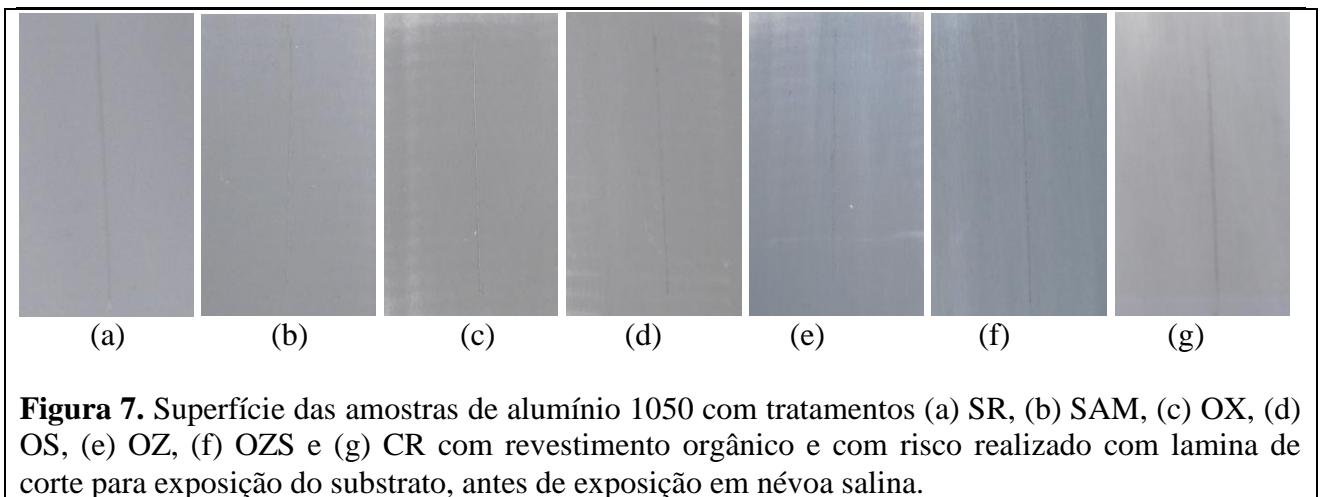


Figura 7. Superfície das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR com revestimento orgânico e com risco realizado com lamina de corte para exposição do substrato, antes de exposição em névoa salina.

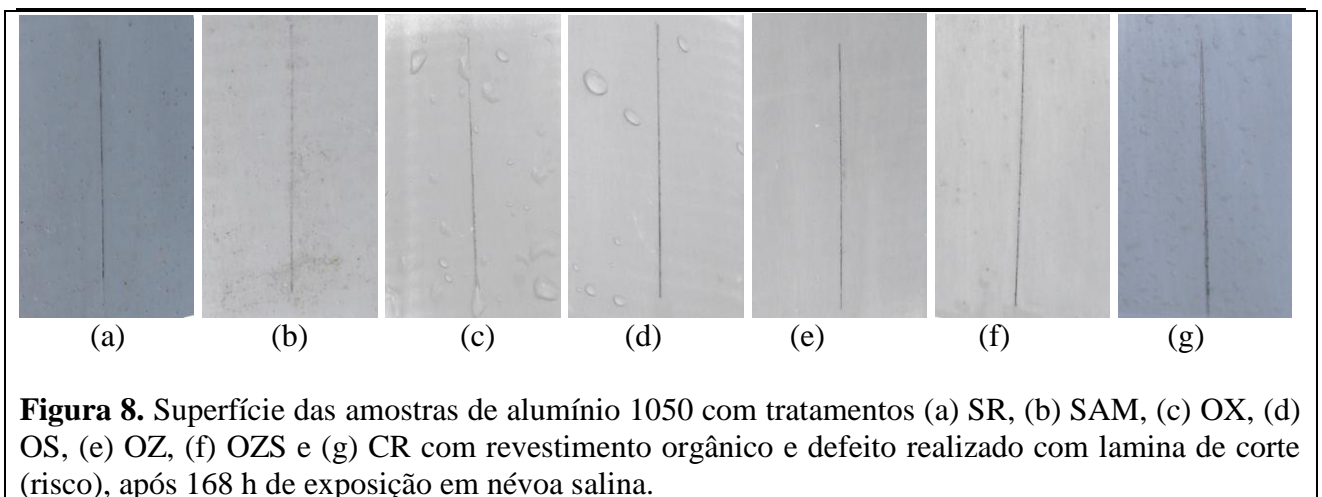


Figura 8. Superfície das amostras de alumínio 1050 com tratamentos (a) SR, (b) SAM, (c) OX, (d) OS, (e) OZ, (f) OZS e (g) CR com revestimento orgânico e defeito realizado com lamina de corte (risco), após 168 h de exposição em névoa salina.

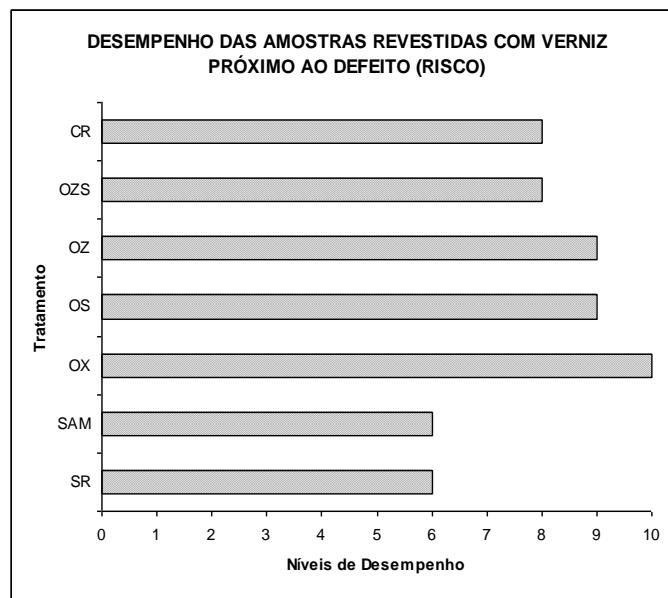


Figura 9. Gráfico de desempenho dos corpos-de-prova com revestimento orgânico na região próxima do risco, após 168 h de exposição em névoa salina (desempenho estimado com base nos parâmetros indicados na Tabela 3).