

# INIBIÇÃO À CORROSÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA 3003 POR SOLUÇÃO ANTICONGELANTE A DIFERENTES TEMPERATURAS

*Alexandra da Silva Oliveira (1)  
Artur de Jesus Motheo (2)*

## **Resumo**

As características de processo corrosivos de trocadores de calor de alumínio na presença de soluções anticongelantes é um tema importante na indústria automobilística onde o emprego das ligas de alumínio está se expandindo constantemente. Neste trabalho, a ação inibidora de uma solução anticongelante, utilizada como aditivo para radiador em sistemas de resfriamento automotivo, na corrosão da liga de alumínio AA 3003 foi estudada a quatro valores de temperatura (25, 50, 75 e 100 ° C) em soluções de NaCl 3,5%, pela análise de curvas de polarização potenciodinâmica. As alterações superficiais do material (eletrodo de trabalho) foram observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados obtidos mostram que a presença de íons cloretos cria ataque localizado extensivo e severa corrosão por pite com o aumento da temperatura. Foi observado que a inibição mais efetiva ocorre a 100 °C, com valores mais nobres do potencial da corrosão e do potencial de pite. Este processo de inibição pode ser atribuído a formação de um filme adsorvido na superfície do eletrodo que protege o metal contra a ação dos íons cloreto. As imagens do MEV evidenciaram a inibição da corrosão na superfície do alumínio pela solução anticongelante em todas as temperaturas.

**Palavras-chave:** Alumínio; Solução anticongelante; Temperatura.

*60º Congresso anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 25 a 28 de Julho de 2005  
Belo Horizonte – MG.*

<sup>1</sup> *Laboratório Químico e Metalúrgico – Radiadores Visconde*

<sup>2</sup> *Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo*

## 1 INTRODUÇÃO

É constante o crescimento do uso das ligas de alumínio na indústria automotiva, pois elas podem reduzir significativamente o peso do automóvel e seu consumo de combustível, diminuindo o custo e a poluição ambiental. Dentro desse segmento, sistemas de refrigeração têm sido uma das principais aplicações, devido a facilidade de manufatura das ligas de alumínio e excelente condutividade térmica.

Entretanto, a corrosão é sempre uma das maiores preocupações em relação ao meio em que esses materiais serão submetidos. Para tratar esse problema, inibidores estão se tornando componentes essenciais na formulação dos aditivos para radiadores, pois é sabido que somente a substância principal desses aditivos, o etilenoglicol, não fornece resistência à corrosão, mas sim, o aumento do ponto de ebulição do fluido no sistema [1].

Dessa forma, diversos estudos têm apresentado alternativas para os inibidores convencionais a base de fosfato, borato e nitrito, que são prejudiciais ao meio ambiente. Aditivos com base em substâncias orgânicas têm mostrado bons resultados, mas ainda em fase de substituição. Normalmente a concentração de um aditivo convencional é de 50% em água. A presença de contaminantes presentes na água, como cobre e ferro, diminui de forma significativa a resistência à corrosão das ligas somando a influência da temperatura, que também impacta diretamente no comportamento de corrosão dos materiais [2].

As ligas da família 3xxx são as principais ligas utilizadas em sistemas de refrigeração, por apresentarem resistência à corrosão e suficiente resistência mecânica, características estas, necessárias para o trabalho ao qual os tubos serão submetidos. Um caso particular é a liga 3003, a qual é uma das que possuem menor suscetibilidade para corrosão através de pite devido ao potencial eletroquímico das partículas de AlMn serem similares a da matriz de alumínio [3]. Uma outra vantagem dessa liga é a compatibilidade com diversos tipos de aditivos, pois tanto inibidores orgânicos quanto inorgânicos apresentam eficiência de inibição em soluções corrosivas, como carbonatos e cloretos, entretanto, tem sido reportado que com o aumento da temperatura essa inibição tende a diminuir de forma acentuada [4,5].

Para controlar e prever alterações das propriedades dos materiais em suas condições de aplicação, testes acelerados de corrosão estão ganhando cada vez mais espaço nas indústrias, por fornecerem informações úteis e seguras. Estes testes incluem desde simples testes de imersão até a aplicação de técnicas eletroquímicas, onde dados comparativos podem ser gerados para avaliar o efeito do potencial de corrosão, temperatura, pH, concentração de íons agressivos, tratamento térmico e elementos de liga [3].

Assim, neste trabalho o comportamento de corrosão da liga de alumínio 3003 em solução de cloreto e aditivo para radiador será apresentado nas temperaturas 25, 50, 75 e 100 °C através de curvas de polarização potenciodinâmica e microscopia eletrônica. Essas temperaturas foram escolhidas por representarem a condição real em que os radiadores e resfriadores são submetidos, obtendo-se um comparativo no comportamento de corrosão da liga frente a uma solução corrosiva (NaCl 3,5%) na presença e ausência solução anticongelante.

## 2 METOLOGIA EXPERIMENTAL

Todos os testes foram realizados em amostras da liga AA 3003-O, cuja composição química foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica, conforme Tabela 1. Foram obtidas curvas potenciodinâmica [6] com um potenciostato EG&G PAR 273 A, em solução de NaCl 3,5%, para determinação dos potenciais de corrosão e de pite, densidade de corrente e taxa de corrosão (mm/ano). As curvas de polarização anódica foram obtidas com amostras de 0,6 mm<sup>2</sup>, devidamente resinadas para confecção de eletrodos de trabalho. Posteriormente as amostras foram submetidas a processo de polimento com lixas (320 a 600) e alumina (0,3 e 0,05 μm). Após o processo de polimento, as amostras foram submetidas a lavagem com acetona em ultra-som. Um eletrodo de calomelanos saturado (ECS) foi utilizado como eletrodo de referência e uma chapa de platina como contra-eletrodo. O intervalo de potencial utilizado foi de 0 a 0,2 V (abaixo do potencial de corrosão) e a velocidade de varredura foi de 1 mV s<sup>-1</sup>.

As soluções utilizadas como eletrólitos foram: NaCl 3,5% na presença e ausência de solução anticongelante a 50% (aditivo para radiador comercial). Os valores de temperatura da solução foram: 25, 50, 75 e 100° C. Para temperaturas superiores a 25° C, foi utilizado um banho de óleo. Todas as medidas de polarização anódica foram iniciadas após 15 minutos de imersão do eletrodo de trabalho na solução eletrolítica. As microscopias eletrônicas foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), antes e após a obtenção das curvas de polarização, com o objetivo de avaliar a extensão do ataque corrosivo.

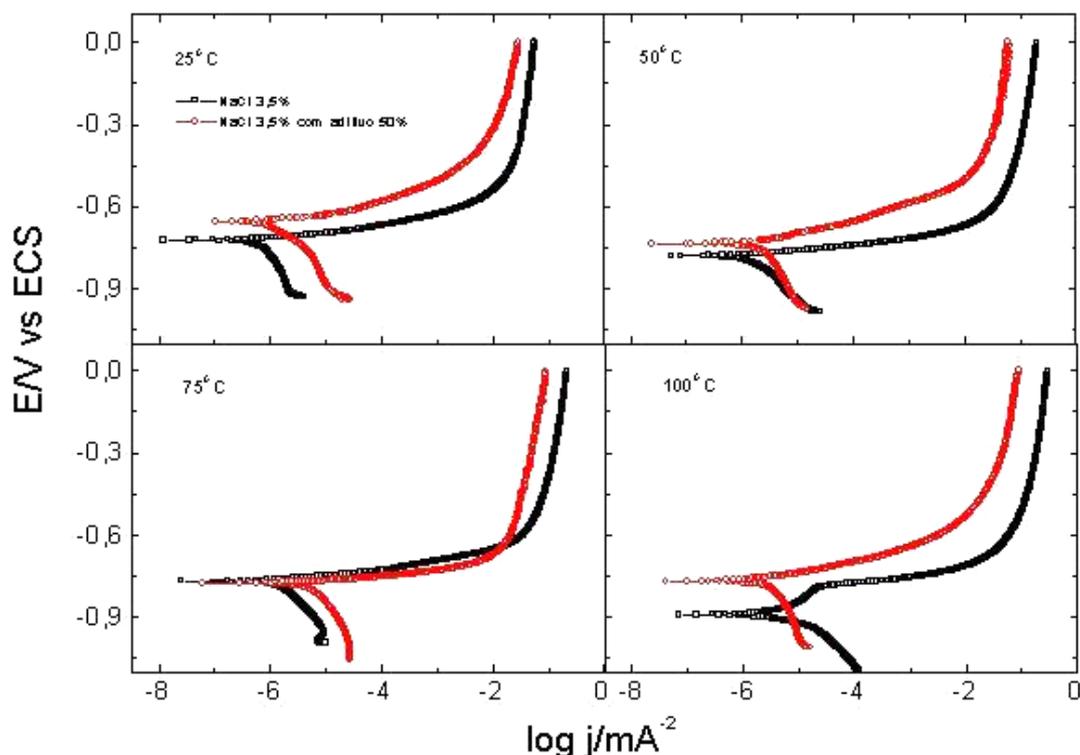
**Tabela 1.** Composição química da liga AA 3003–O, em porcentagem em peso.

Cu	Zn	Fe	Mn	Mg	Si	Al
0,08	0,04	0,37	1,11	0,01	0,15	Restante

## 3 RESULTADOS E DISCUSSAO

As curvas de polarização anódica (log i vs. E) referente a liga AA 3003–O estão apresentadas na Figura 1, para os diferentes meios e temperaturas utilizadas. Para as curvas sem a presença de anticongelante é possível observar um deslocamento decrescente no potencial de corrosão de acordo com a temperatura. Os valores de potencial de pite e densidade de corrente também são alterados pela temperatura, entretanto não é possível estabelecer uma relação direta entre ambos.

Os resultados obtidos com a solução anticongelante a 50% em NaCl 3,5% indicam um aumento do potencial de corrosão e potencial de pite em todas as temperaturas, com destaque a 100° C, aonde é possível observar um deslocamento de potencial na ordem de 170 mV (Tabela 1). Os valores de potencial de pite também apresentaram resultados similares de deslocamento, entretanto para a temperatura a 75° C, a solução anticongelante não apresentou alteração significativa no potencial de corrosão. Os valores da taxa de corrosão e densidade de corrente não são conclusivos, pois não indicam uma relação real ao potencial de corrosão e pite.



**Figura 1.** Curvas de polarização anódica da liga AA 3003-O em solução de NaCl 3,5% na ausência e presença de solução anticongelante.

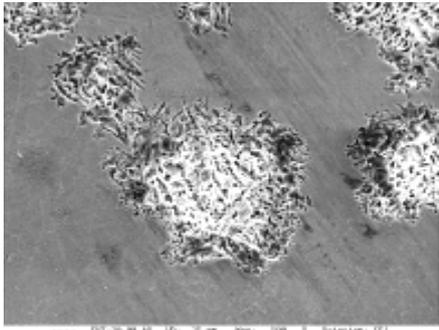
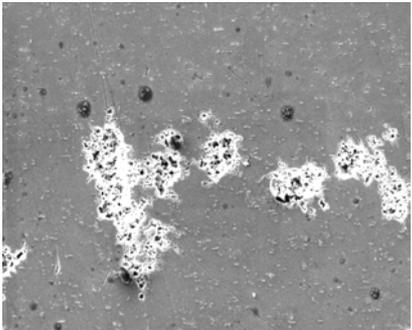
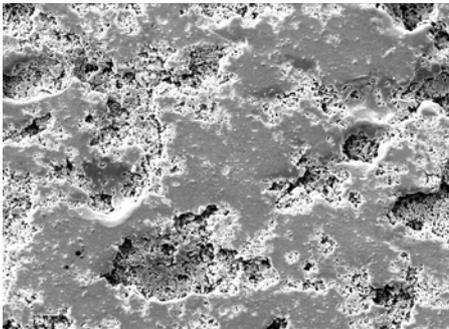
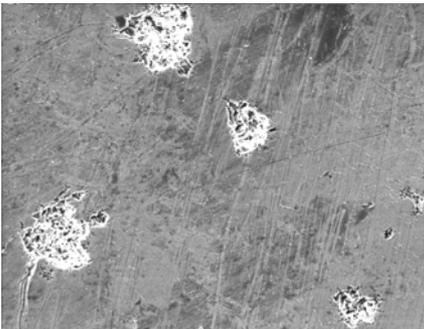
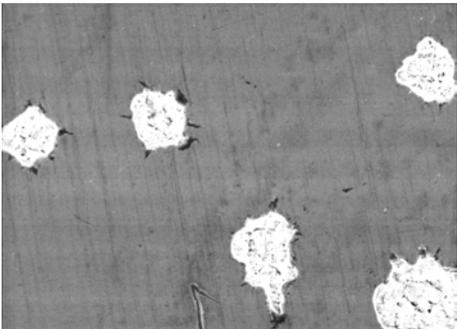
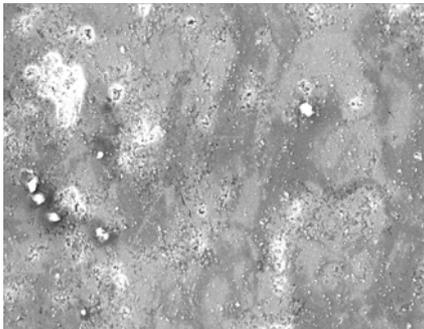
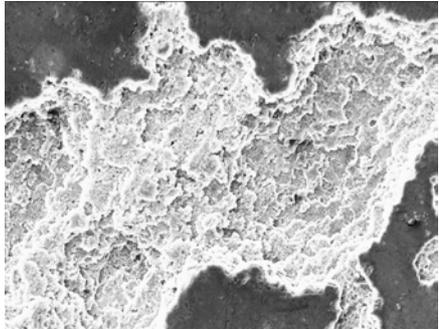
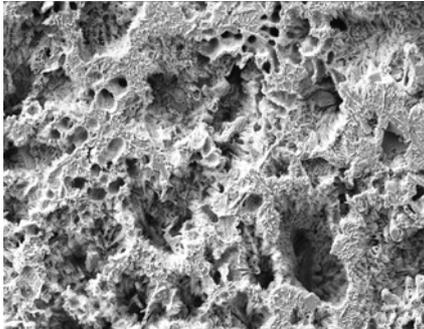
A liga 3003-O por tratar-se de uma liga trabalhada por deformação a frio e posteriormente recozida, não apresenta em sua estrutura cristalina grãos encruados nem constituintes de segunda fase nos contornos de grãos, diminuindo a influência de sua microestrutura em sua resistência á corrosão [3]. Essa característica sugere que sua microestrutura não tenha apresentado influência na inibição obtida pela solução anticongelante.

**Tabela 2.** Resultados da polarização anódica da liga AA 3003-O em NaCl 3,5%.

Temp. (°C)	$E_{corr}$ (V)	$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$E_{pit}$ (V)	Taxa Corr (mm/ano)
25	0.73	0.89	0.66	$9,65e^{-3}$
50	0.78	1.46	0.72	$1,60e^{-2}$
75	0.77	1.77	0.69	$1,90e^{-2}$
100	0.95	18.40	0.72	$1,98e^{-1}$

**Tabela 3.** Resultados da polarização anódica da liga AA 3003-O em NaCl 3,5% com aditivo para radiador (50%).

Temp. (°C)	$E_{corr}$ (V)	$I_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$E_{pit}$ (V)	Taxa Corr (mm/ano)
25	0.64	2.33	0.59	$2,36e^{-2}$
50	0.74	2.66	0.64	$2,89e^{-2}$
75	0.77	6.69	0.75	$7,21e^{-2}$
100	0.78	3.31	0.69	$2,82e^{-2}$

Temperatura (°C)	NaCl 3,5%	NaCl 3,5% com solução anticongelante 50%
25		
50		
75		
100		

**Figura 2.** Microscopias da superfície do eletrodo após as curvas de polarização.

Alguns autores [7,8] atribuem a corrosão do alumínio à presença de íons agressivos (como cloreto) que rompem a camada do filme passivo e aceleram o

processo de dissolução anódica, obtendo como conseqüência a corrosão por pite. Entretanto, quando alguns inibidores (inorgânicos e orgânicos) se adsorvem sobre a superfície do metal, um filme protetor é formado e a reação entre o metal e a solução corrosiva tomará lugar somente pela difusão de íons agressivos através dos poros do filme, diminuindo dessa forma o processo corrosivo.

Os valores obtidos na resistência à corrosão da amostra analisada em solução anticongelante indicam um comportamento similar dos trabalhos citados. A mudança no potencial de corrosão e pite para valores mais nobres junto com o aumento da temperatura (100° C) sugerem a formação de um filme protetor, conforme apresentado na Figura 2 (100° C), impedindo possivelmente a reação do íon cloreto com a superfície do metal.

#### **4 CONCLUSOES**

A resistência à corrosão da liga de alumínio AA 3003-O é diretamente influenciada pela temperatura do eletrólito. Os resultados obtidos nas curvas de polarização potenciodinâmica indicam que a solução anticongelante fornece inibição à corrosão a 25, 50, 75 e 100° C; com maior destaque para 100° C, aonde o maior deslocamento no potencial de corrosão foi observado com 170 mV. Os valores do potencial de pite também apresentaram resultados de inibição similares, porém, a 75° C a solução anticongelante não apresentou inibição significativa.

As imagens apresentadas pelo MEV evidenciaram a inibição da solução anticongelante em todas as temperaturas, indicando a formação de um filme protetor sobre a superfície do eletrodo a 100° C, tendo possivelmente impedido a reação dos íons cloretos com a superfície do eletrodo.

#### **5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1] WONG, D. SWETTE, L. – Aluminum corrosion in uninhibited ethylene glycol-water solutions – Journal Electrochemical Society. Vol 129 n°1 (1979) 11 – 15.
- [2] TSAI, W. T.; HON, Y.H.; LEE, J.T. – Corrosion inhibition of aluminum alloys in heat exchanger systems. Surface and Coatings Technology. Vol 31 n° 4 (1987) 365 – 380.
- [3] DAVIS, J.R. – Corrosion of aluminum and aluminum alloys. Ohio – USA: American Society Material, 2000.
- [4] HANDBOOK – Failure Analyses. Ohio – USA. American Society Material. Vol 11, 2004. cap. 7, p. 760-784.
- [5] SALGHI, R.; BAZZI, L.; HAMMOUTI, B.; KERTIT, S.; BOUCHTART, A.; ALAMI, Z.E. – Effet de l’addition de composés inorganiques sur le comportement a la corrosion de l’alliage d’aluminum 3003 em milieu bicarbonate. Annales de Chimie Science des Materiaux. Vol 25 n° 8 (2000) 593 – 600.
- [6] ASTM G5 – 94 – Standard Reference Test Method for Making Potenciostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements (2002).
- [7] BRANZOI, V.; GOLGOVICI, F.; BRANZOI, F. – Aluminum corrosion in hydrochloric acid solutions and the effect of some organic inhibitors. Materials Chemistry and Physics. Vol 78 n° 1 (2003) 122 – 131.
- [8] McCUNE, R.C.; SHILTS, R.L.; FERGUSON, M. – A study of film formation on aluminum in aqueous solutions using rutherford backscattering spectroscopy. Corrosion Science. Vol 22 N° 11 (1982) 1049 – 1065.

# INHIBITION TO CORROSION ALUMINUM ALLOY AA 3003 FOR ANTIFREEZE SOLUTION IN DIFFERENT TEMPERATURES

*Alexandra da Silva Oliveira (1)*  
*Artur de Jesus Motheo (2)*

## **Abstract**

Corrosion behaviour of aluminum heat exchangers by antifreeze solution in an important issue in the automotive industry where aluminum alloys are constantly expanding. This work the inhibitive action of antifreeze solution used for coolant in automotive cooling systems on aluminum alloy 3003 corrosion has been studied in four temperatures (25, 50, 75 e 100° C) in NaCl 3,5% solutions through potentiodynamic polarization. The evolution of the electrode surface was examined by scanning electron microscopy (SEM). The obtained results show that the presence of the chloride ions creates extensive localized attack and severe pitting corrosion with increase of temperature. It was found the best inhibition in 100° C with value nobler of corrosion potential and pit potential. This inhibition process was attributed to the formation of adsorbed film in the electrode surface that protects the metal against corrosive ions (chloride). The SEM images had evidenced the inhibition to the corrosion on aluminum surface by antifreeze solution in all temperatures.

**Key-words:** Aluminum; Antifreeze solution; temperature.

*60° Annual Congress of the Brazilian Association of Metallurgy and Materials, 25 to 28 July 2005 Belo Horizonte – MG.*

<sup>1</sup> *Laboratório Químico e Metalúrgico – Radiadores Visconde*

<sup>2</sup> *Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo*