

MELHORIA DE QUALIDADE: UM ESTUDO SOBRE OS IMPACTOS DOS REVESTIMENTOS NA CORROSÃO DO ALUMÍNIO

¹Caio Guazelli

^{1,2}Antonio Faria Neto

antfarianeto@gmail.com

¹UNITAU - Universidade de Taubaté

²UNESP – Universidade Estadual de São Paulo - Guaratinguetá

RESUMO

O alumínio e suas ligas são altamente empregados no cenário global, sendo largamente utilizados nas indústrias de refrigeração e condicionamento de ar. Atualmente são usados na fabricação de trocadores de calor, principalmente dois tipos de ligas de alumínio: a A8079 e a A8006. Dado o exposto, o presente trabalho irá abordar um caso real de corrosão do alumínio em trocadores de calor instalados em regiões litorâneas. Nestes casos, foi evidenciada a presença de corrosão acelerada do alumínio, comprometendo assim o funcionamento e a vida útil dos equipamentos instalados sob as condições mencionadas. Neste contexto, o objetivo principal deste projeto foi estudar os impactos dos revestimentos na corrosão de trocadores de calor. A presente pesquisa buscou o entendimento do problema bem como os fatores que afetam as características de resistência à corrosão do alumínio quando aplicado em condições agressivas, considerando seus princípios e dimensões técnicas e tecnológicas. O foco deste estudo foi aplicar técnicas protetivas para aumentar a resistência à corrosão de aletas de alumínio, o mesmo foi realizado no processo de fabricação de uma empresa multinacional americana. Na parte metodológica foram utilizadas as pesquisas explicativas - experimental, e sendo assim foram selecionadas e estudadas as variáveis que seriam capazes de influenciar os problemas de objeto de estudo. O propósito do projeto foi alcançado, uma vez que foram criadas opções para resolução do problema e consequentemente condições para seu desenvolvimento e futura implementação no meio industrial. Os resultados obtidos demonstram que quando aplicado revestimentos sobre as superfícies expostas das aletas, as mesmas apresentam uma resistência a corrosão superior aos que não possuem esta proteção.

Palavras-chave: Corrosão de alumínio; Revestimentos; Causas atmosféricas; Névoa salina.

ABSTRACT

Aluminum and its alloys are frequently used on the global stage and are widely applied in the fabrication of refrigeration and air conditioning industries. They are currently used in the manufacture of heat exchangers, predominantly two types of aluminum alloys: A8079 and A8006. Based on this, this research studies a real case of aluminum corrosion applied to heat exchangers installed in coastal regions. In each case, accelerated corrosion was observed in the heat exchangers, thus compromising their operation and useful life of the equipment installed under the above mentioned conditions. Therefore, the main objective of this project was to study the effect of inhibiting corrosion layers and the impacts of the production process on the corrosion of aluminum heat exchangers. This research aimed to understand the problem of corrosion of aluminum used in heat exchangers and the factors that affect the strength characteristics of aluminum corrosion when applied in aggressive conditions, considering its technical and technological principles and dimensions. The focus of this research was to apply protective techniques in order to increase the corrosion resistance of aluminum fins, and this study was conducted in the manufacturing process of an American Multinational Corporation. The methodology consisted of a combination of both explanatory and experimental research, and based on the findings of the research the variables that possibly influence the problems in the objective in this study. Heat exchangers are made of aluminum alloy A8006, produced by eccentric presses designed specifically for the manufacture of fins. As options were created to solve a problem means were presented in order to assist with development and future implementation in industry, the project achieved its purpose. The results demonstrate that when coatings were applied on a heat exchanger a higher corrosion resistance was present than their counterparts that didn't use protection.

Keywords: Aluminum corrosion; Coatings; Atmospheric causes; Salt Spray.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O alumínio e suas ligas são altamente empregados no cenário global, sendo largamente aplicados na fabricação de produtos nas indústrias de refrigeração e condicionamento de ar. Isto se deve principalmente em função das propriedades que essas ligas possuem, tais como: baixa densidade, boa ductilidade e condutividade térmica, além de resistência mecânica e corrosão compatíveis com sua aplicação (VIOMAR et al., 2012)

Devido a uma combinação de diversos fatores como, por exemplo, alta resistência mecânica, leveza dos materiais e abundância do minério na natureza, cada vez mais a demanda destes cresce nos setores industriais. Para tanto o desenvolvimento de novas tecnologias de proteção a corrosão para estes se tornam cada vez mais importantes à medida que sua aplicação tem se ampliado cada vez mais (SILVA, 2009).

Os dois principais tipos de liga de alumínio empregados na fabricação de trocadores de calor são: a A8079 e a A8006. Estas ainda podem ser fornecidas com uma camada de verniz epóxi, conhecida como alumínio Gold, que tem como função proteger o alumínio contra oxidação e corrosão. Por característica, as ligas de alumínio são reativas quando expostas ao oxigênio desenvolvendo um óxido que aumenta a resistência à corrosão (PEREIRA, 2010, P. 24).

Apesar disto, o problema de corrosão de trocadores de calor ocorre em regiões litorâneas devido ao seu ambiente ser agressivo. Quando aplicado nestas condições o alumínio tem apresentado ocorrências de deslocamento do verniz epóxi e conseqüentemente exposto oxidação e corrosão. Nestes casos, conforme a Figura 1 foi evidenciada a presença de corrosão acelerada, comprometendo assim o funcionamento e a vida útil dos equipamentos.

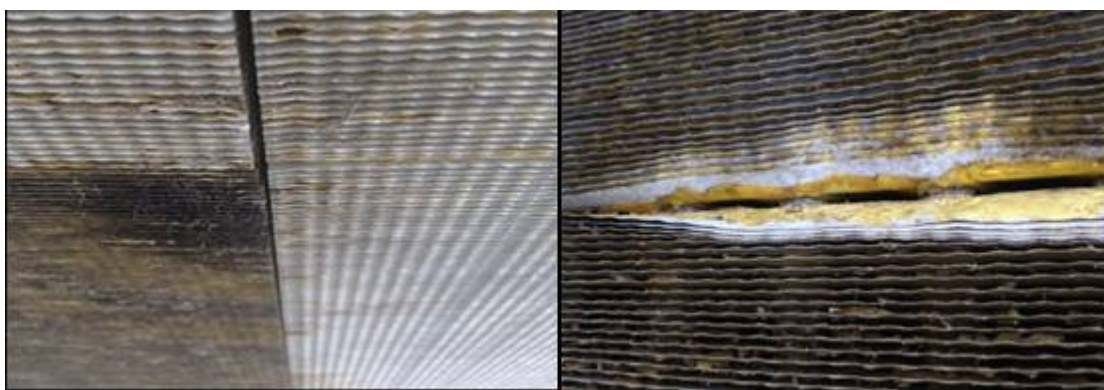


Figura 1 - Deslocamento da camada de verniz epóxi.

Fonte: Empresa Estudada.

O foco desta pesquisa foi de estudar a corrosão de alumínio, bem como as técnicas e tecnologias disponíveis para evitá-la. Para a realização deste projeto foi efetuada uma ampla e profunda revisão bibliográfica, buscando avanços recentes nas áreas de corrosão do alumínio e camadas inibidoras, utilizando-se principalmente de fontes como base de dados, revistas e jornais acadêmicos.

1.2. Objetivos

Objetivos da Pesquisa: O objetivo geral desta pesquisa foi estudar os impactos dos revestimentos na corrosão de trocadores de calor.

O cumprimento do objetivo principal desta pesquisa passa pela realização dos seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as técnicas de camadas inibidoras de oxidação e corrosão do alumínio que podem ser aplicadas na fabricação de serpentinas e conseqüentemente no ambiente industrial;
2. Estudar o efeito de camadas inibidoras à corrosão e os impactos do processo produtivo na corrosão de trocadores de calor.
3. Identificar os fatores que tem maior influência na corrosão de serpentinas.

1.3. Justificativa de Pesquisa

Estudos realizados por agências independentes nos EUA indicam que os custos da corrosão no âmbito comercial, residencial e de transporte chegam a 276 bilhões de dólares ao ano. Isto ocorre devido às necessidades de investimentos em manutenção e reparo de materiais metálicos, que exigem durabilidade e resistência contra a corrosão. (SILVA, 2009).

A empresa estudada é reconhecida no mercado brasileiro por ter produtos de qualidade superior em relação aos concorrentes. Entretanto está enfrentando problemas de oxidação e corrosão em seus trocadores de calor quando instalados nas proximidades de regiões litorâneas ou em ambientes agressivos. Estas ocorrências causam graves impactos na organização e em seus custos, devido principalmente aos retrabalhos, paradas dos equipamentos, custos de manutenção, troca de equipamentos nos clientes, desgaste da relação cliente-empresa, perdas do produto armazenado e perdas de vendas.

Este estudo trata de um problema prático que irá abordar técnicas e soluções acadêmicas que podem ser aplicadas nas indústrias.

1.4. Delimitação da Pesquisa

Dado o exposto, o presente trabalho irá abordar um caso real de corrosão do alumínio aplicado em trocadores de calor instalados em regiões litorâneas. Este problema ocorre em serpentinas de 4 a 7 metros de comprimento, aplicadas como condensadores e o tipo de liga utilizada é a A8006 Gold tempera O. Após os equipamentos estarem instalados em campo foram reportados casos em que o alumínio apresenta degradação depois de um período de 3 a 6 meses em funcionamento, ocorrendo a oxidação, corrosão e o deslocamento do verniz.

O foco desta pesquisa foi estudar os impactos da aplicação de camadas de inibição à corrosão para aumentar a resistência de aletas de alumínio, o presente estudo foi realizado no processo de fabricação de trocadores de calor de uma empresa multinacional americana. O trocador de calor estudado foi conformado em prensas excêntricas desenvolvidas especificamente para fabricação de serpentinas. O produto utilizado para os testes foi um corpo de prova em alumínio-cobre que foi submetido a um teste acelerado de névoa salina a 5% de cloreto de sódio por um período de 500 horas de exposição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O Alumínio e suas ligas são amplamente empregados em diversos campos tal como indústrias, construção, engenharia elétrica e transporte, devido suas excelentes propriedades mecânicas e resistência à corrosão. Entretanto o alumínio e suas ligas são suscetíveis a corrosões atmosféricas principalmente sob a forma de pites, corrosão intergranular e corrosão sob tensão. Estudos ao ar livre em diferentes ambientes e experimentos acelerados em laboratório têm sido realizados para entender a influência do ambiente atmosférico no comportamento da corrosão do alumínio. Alguns testes podem ser utilizados para entendermos o comportamento da corrosão em alumínio, tais como corrosão por ions (ex: Cl, SO₂, NO_x, and CO₂), câmara úmida e Salt Spray (YANJIE et al., 2014).

Em função do alumínio possuir uma camada de oxido formada naturalmente em sua superfície, se atribui a ele uma elevada resistência à corrosão. Na aplicação industrial a atmosfera é mais agressiva e frequentemente associada a esforços mecânicos, conseqüentemente os filmes de óxidos não oferecem uma resistência a longo prazo podendo sofrer corrosão em meios ácidos ou alcalinos. Para este tipo de aplicações é recomendada a utilização de revestimentos protetores. Segundo o autor o tipo de corrosão mais comum em alumínio e suas ligas é a corrosão por pite. Este tipo de

corrosão localizada é a forma mais destruidora e acontece principalmente em atmosferas contaminadas em cloreto, em geral se desenvolve em três estágios: identificados com a quebra do filme passivo, crescimento de pites metaestáveis e, por fim, crescimento de pites estáveis. Uma vez iniciado o processo de corrosão, pode ocorrer delaminação e perda da aderência da tinta ao substrato. Em razão disso, ligas de alumínio são submetidas a tratamentos de superfície antes da pintura, particularmente àqueles conhecidos como tratamentos de conversão, que têm a finalidade de retardar a degradação do sistema substrato metálico/revestimento. Estes processos podem atuar apenas como promotores de adesão entre o substrato e a camada orgânica (tinta), bem como promover inibição do mecanismo de ataque corrosivo do metal (SZURKALO, 2009, P.11).

Segundo Lira (2012) quando aplicadas camadas protetoras sobre ligas de alumínio, os mesmos apresentam uma resistência superior a corrosão quando comparadas sobre ligas que não tiveram o processo de aplicação do revestimento. Em seu estudo, o revestimento Co-Cr-W-FE-NI (1256 F) apresentou o melhor desempenho geral. Portanto os revestimentos produzidos por aspersão térmica são alternativas altamente promissoras para o melhoramento das ligas de alumínio. Da mesma forma a pintura epóxi demonstra ser uma alternativa por ter características anticorrosivas e uma proteção contra corrosão adequada para aplicação industrial (ABDOLLAHI et al., 2014).

Trocadores de calor são constituídos basicamente por aletas de alumínio, tubos de cobre e chapas de aço galvanizado, Figura 02. A corrosão do alumínio traz consequências como perda de capacidade de troca de calor, redução da vida útil do produto, aumento do consumo energético e quebra de compressores. Para minimizar os efeitos da corrosão do alumínio foram criadas camadas inibidoras que prolongam a vida útil das aletas e reduzem os impactos da exposição ao meio ambiente. Um procedimento comum é aplicar uma camada protetora que cria uma barreira entre o alumínio e o ambiente. Isto impede que a água, o oxigênio e sulfatos provenientes do meio ambiente atinjam a superfície do metal. São conhecidos como barreiras inibidoras os sistemas contendo cromato, pintura epóxi e banhos por anodização (FRAU, et al, 2010).



Figura 2 - Trocador de Calor.
Fonte: Empresa Estudada.

3. METODOLOGIA

3.1. Procedimentos Técnicos

Estudos realizados por Triviños (1987), Gil (2002), Miguel (2010) e Oliveira (1997) descrevem que as pesquisas podem ser classificadas em três grandes grupos: exploratórias, descritivas e explicativas. Dentre destas as pesquisas explicativas são as que descrevem melhor a metodologia aplicada nesta pesquisa.

Segundo Gil (2002), pesquisas de natureza explicativa têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou contribuem para ocorrência dos fenômenos. Estas pesquisas podem ser classificadas como pesquisa experimental, que consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas de pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado (TRIVIÑOS, 1987).

Segundo Miguel (2010) e Montgomery (2013) os projetos de pesquisa podem ter níveis quantitativos mensuráveis como temperatura e pressão, ou eles podem ser qualitativos classificados como alto ou baixo. Este projeto se classifica por utilizar abordagem qualitativa.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica para identificar os principais trabalhos publicados sobre o tema do presente projeto de pesquisa, tanto nas bases de dados nacionais quanto nas internacionais. No primeiro momento a revisão seguiu um modelo de varredura horizontal, onde o objetivo foi identificar os principais autores e revistas sobre o tema de pesquisa. Após foi realizado uma varredura vertical, onde se buscou o melhor entendimento sobre as teorias e modelos aplicados mais recentemente ao problema estudado.

Para entender melhor o problema foi utilizada a ferramenta de análise de causa raiz, conhecida como espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa, Figura 03. Para análise do problema foi montado um grupo multidisciplinar de engenheiros da empresa estudada, representando as áreas de Qualidade, Produção, Engenharia de Processo e Produto e Assistência Técnica. Ao avaliar as possíveis causas uma que se mostrou de elevada importância para o grupo foi, “superfície da aleta exposta à corrosão”, desta forma foi identificado que após a etapa de conformação das aletas as extremidades do alumínio ficavam desprotegidas em função do corte da aleta que retirava a pintura de verniz epóxi durante a fabricação. Mesmo que utilizado o alumínio mais nobre, A8006 Gold, a superfície da borda da aleta fica exposta e assim suscetível à corrosão.

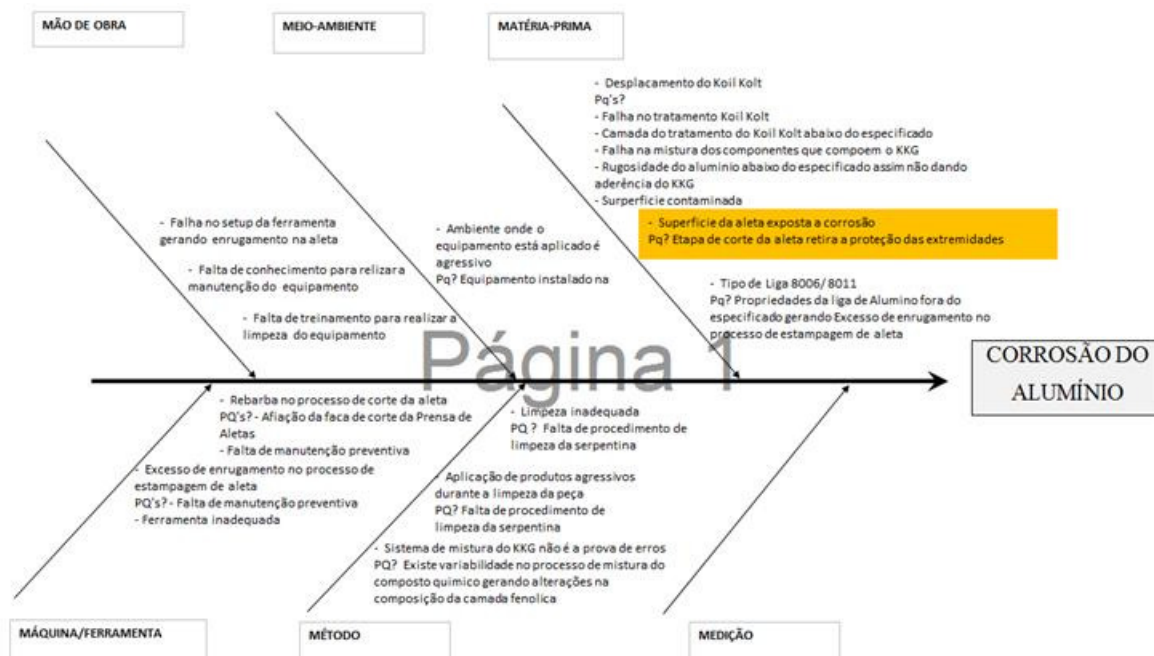


Figura 3 - Diagrama de Ishikawa.

Fonte: Autor.

Na segunda etapa foram definidos os corpos de prova que foram submetidos ao teste acelerado de névoa salina. Estes corpos de prova foram formados por aletas de alumínio liga A8006 tempera O, com espessura de 0,105 mm, tubos de cobre 3/8", na dimensão de 540 mm por 440 mm. O critério de aprovação foi resistir a 500 horas de exposição ao vapor de névoa salina em uma concentração de 5% de cloreto de sódio.

Para aplicação dos testes foram utilizadas duas ligas de alumínio conforme Figura 04, a partir disto foram definidos três corpos de provas com as seguintes características: o primeiro formado com alumínio na sua forma natural sem nenhuma proteção protetiva A8006 Natural denominado C1, o segundo com alumínio fornecido com uma aplicação de uma pintura de verniz epóxi A8006 Gold denominado C2 e o terceiro utilizou a mesma configuração do segundo, porém foi adicionada uma pintura epóxi na região de corte transversal das aletas denominado C3.

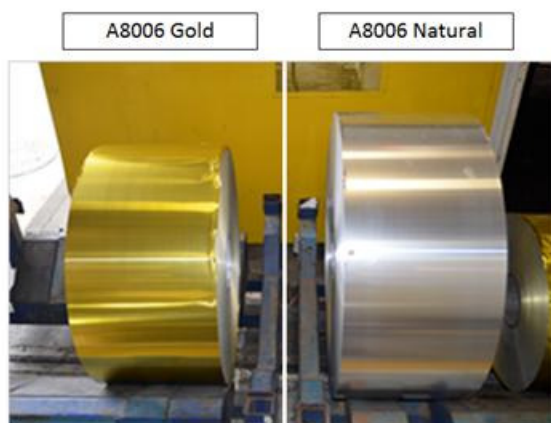


Figura 4 - Bobinas de alumínio.

Fonte: Empresa estudada.

3.2. Materiais

Ligas de alumínio

As ligas de alumínio possuem a presença de elementos que são adicionados na sua fabricação com a finalidade de melhorar suas características mecânicas, assim elevando sua resistência à corrosão. Em 1971 a Aluminum Association classificou as ligas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação e usos de ligas alumínio.

Série	Composição Química	Principais Aplicações
1XXX	Al com 99% de pureza	Contatos elétricos, indústria química e alimentícia.
2XXX	Al-Cu e Al-Cu-Mg	Indústria aeronáutica.
3XXX	Al-Mn e Al-Mn-Mg	Latas de bebidas.
4XXX	Al-Si	Metal de adição para soldas, pistões forjados de motores.
5XXX	Al-Mg Indústria náutica	Indústria náutica.
6XXX	Al-Mg-Si	Perfis arquitetônicos e componentes automotivos.

7XXX	Al-Zn e Al-Zn-Mg	Indústria aeronáutica
8XXX	Outras ligas (Al-Li, Al-Fe...)	Conformação e estampos.

Fonte: Adaptado pelo autor Aluminum Association.

Para o presente estudo foi selecionado uma liga de alumínio de alta resistência à corrosão, a liga A8006 tempera O.

Tabela 2 - Composição química alumínio.

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zi	Outros	Quantidade mínima de Alumínio
8006	0,4	1,2-2	0,1	0,3-1,0	0,1	-	0,1	0,05	99,35

Fonte: Adaptado pelo autor Companhia Brasileira de Alumínio.

Em relação às ligas estudadas, a liga A8006 apresenta 99,35% de pureza em relação ao alumínio, sendo altamente resistente a corrosão. As combinações de Al-Si-Mg trazem excelentes características de resistência à corrosão e excelentes propriedades mecânicas.

Métodos de obtenção do corpo de prova

Neste experimento os corpos de prova foram obtidos através do processo de conformação de serpentinas conforme descrito pelo fluxo ilustrado na Figura 5.



Figura 5 - Fluxo de fabricação dos corpos de prova.

Fonte: Autor.

Os corpos de provas foram construídos utilizando três variações: conforme a Figura 06 o corpo de prova C1 foi construído com aletas em alumínio A8006 Natural, ou seja, sem a aplicação de revestimentos protetores. O corpo de prova C2 foi construído com aletas A8006 Gold, Figura 07, e o terceiro foram utilizados a mesma configuração do segundo adicionada a aplicação de uma pintura adicional nas suas extremidades, Figura 08. Conforme analisado no diagrama de Ishikawa os corpos de provas foram montados para avaliar os impactos dos revestimentos em comparação ao alumínio na sua forma natural, em relação às camadas inibidoras da corrosão e avaliando a relação da exposição da aleta após a etapa corte das aletas com o problema pesquisado.



Figura 6 - Aleta de alumínio A8006 Natural.
Fonte: Empresa estudada.



Figura 7 - Aleta de alumínio A8006 Gold.
Fonte: Empresa estudada.

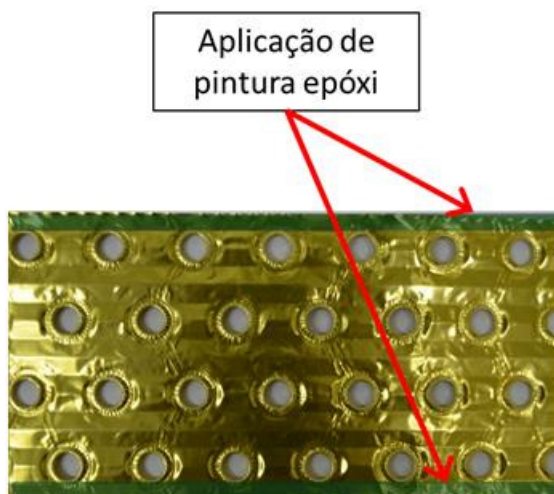


Figura 8 - Aleta de alumínio A8006 Gold aplicada pintura epóxi nas faces expostas.
Fonte: Empresa estudada.

Ensaio de Corrosão Acelerada (Névoa Salina)

Trocadores de calor são expostos durante sua vida útil aos mais variados meios agressivos. Desta forma é muito difícil simular estas condições em um teste de laboratório, o que se pode é realizar ensaios que representam condições agressivas permitindo simular meios agressivos isoladamente. O teste de névoa salina das amostras foi realizado conforme a norma técnica ASTM B117 equivalente a NBR-8094 (ABNT).

Para realização dos testes acelerados de corrosão foi utilizado uma câmara de vaporização de névoa salina da marca Equilam de 600 litros de capacidade, Figura 9, esse equipamento permitiu a realização dos ensaios. Para estes foi utilizada uma solução de cloreto de sódio a 5% de concentração vaporizada sobre os corpos de prova, por um período de

500 horas. Durante a exposição à névoa os corpos de prova ficaram na posição vertical conforme Figura 10. O critério de aprovação foi qualitativo e determinado pela norma interna de engenharia, neste os trocadores de calor devem resistir a uma exposição a vapores de nevoa salina por um período de 500 horas. Quando ocorrerem evidência de corrosão localizada como pites, degradação do material ou deslocamento da pintura epóxi o mesmo será ser reprovado pelo teste.



Figura 9 - Câmara de teste acelerado.
Fonte: Empresa estudada.

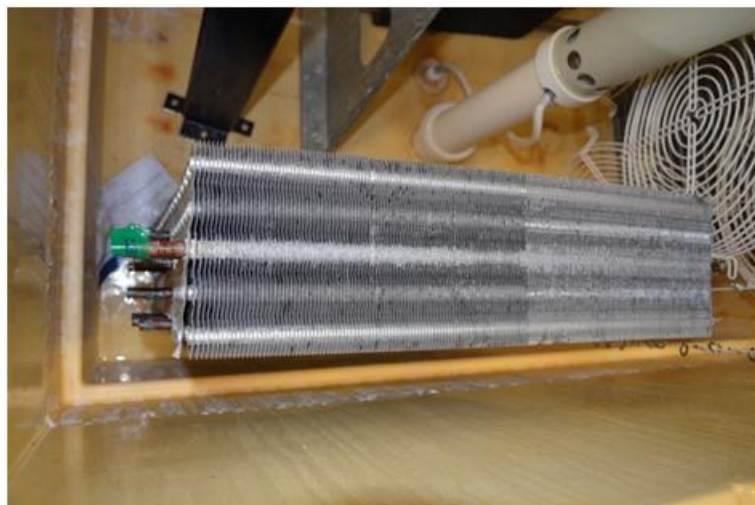


Figura 10 - Corpo de prova durante o teste de névoa salina.
Fonte: Empresa estudada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado no procedimento experimental, a avaliação do grau de corrosão da superfície foi realizada após os corpos de prova atingirem 500 horas de teste, onde foi observado o crescimento da área corroída ou alteração de aspecto da cobertura de forma qualitativa. De forma geral pode-se observar que o corpo de prova C1 apresentou pontos de corrosão acelerados de forma mais agressiva quando comparado com os resultados do C2 e C3, o último apresentou o resultado mais satisfatório entre os testes, Figura 11.

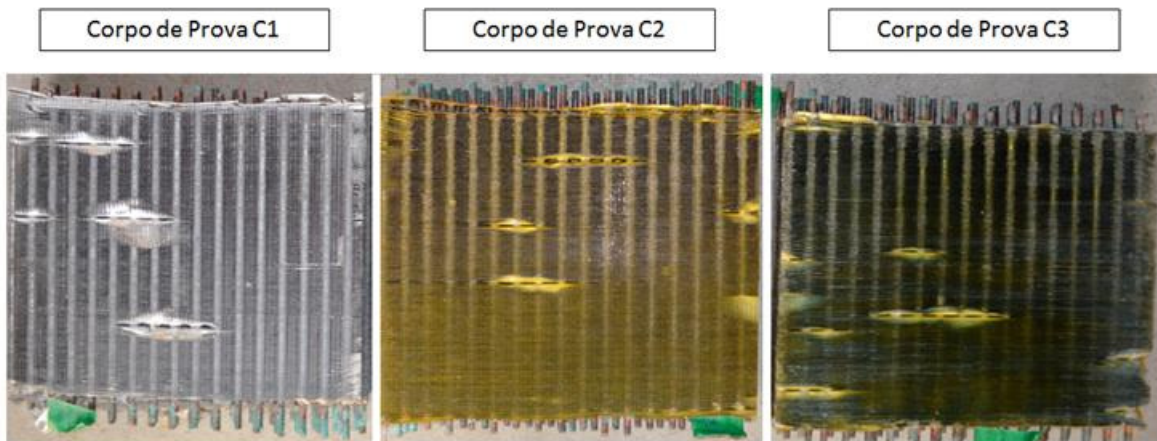


Figura 11: Corpos de prova.
Fonte: Empresa estudada.

Para região superior destacada abaixo na figura 12, o corpo C1 apresentou elevada degradação, oxidação e corrosão acelerada das aletas ao final do teste. Pode-se avaliar que houve uma perda acentuada de material evidenciada pelas condições das aletas ao final do teste.

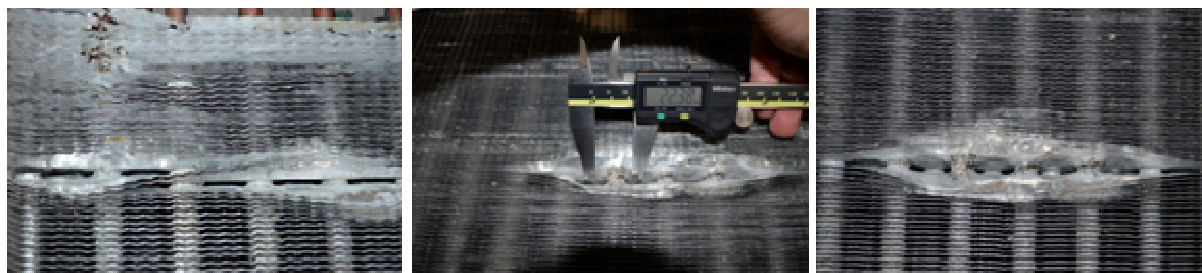


Figura 12 - Face superior do corpo de prova C1.
Fonte: Empresa estudada.

O corpo de prova C2 apresentou ao final do teste o deslocamento do verniz epóxi, e desta forma sendo reprovado no teste, foi constatado que o alumínio apresentou uma escala menor de corrosão do que o C1, demonstrando assim o impacto positivo na resistência a corrosão da camada de verniz epóxi, Figura 13.

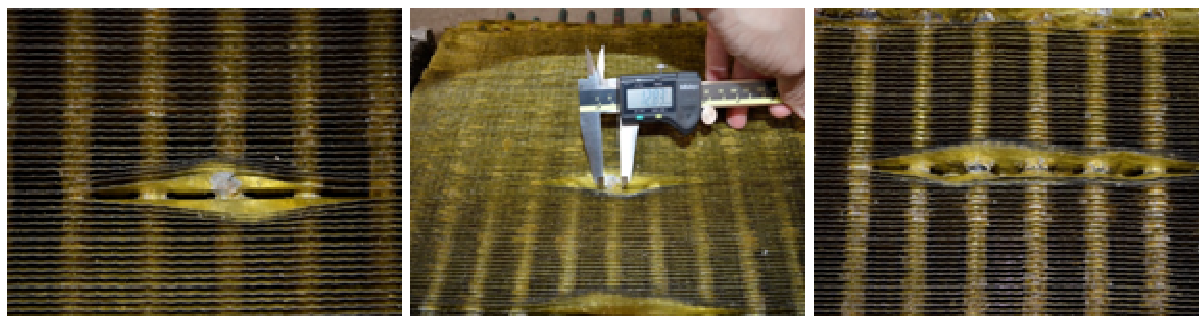


Figura 13 - Face superior do corpo de prova C2.
Fonte: Empresa estudada.

Quando avaliamos o corpo de prova C3 (Figura 14), não foi evidenciada a ocorrência de pontos de corrosão nas aletas de forma acelerada como apresentaram os corpos de prova C1 e C2. Desta forma demonstrando uma

resistência adequada para sua aplicação em ambientes agressivos, e em níveis superiores aos alcançados pelo corpo de prova C1 e C2. Da mesma forma foi possível identificar o impacto da aplicação de pintura epóxi nas superfícies expostas, uma vez que essa região foi protegida, ela reduz a possibilidade da oxidação ser iniciada a partir da borda das aletas.

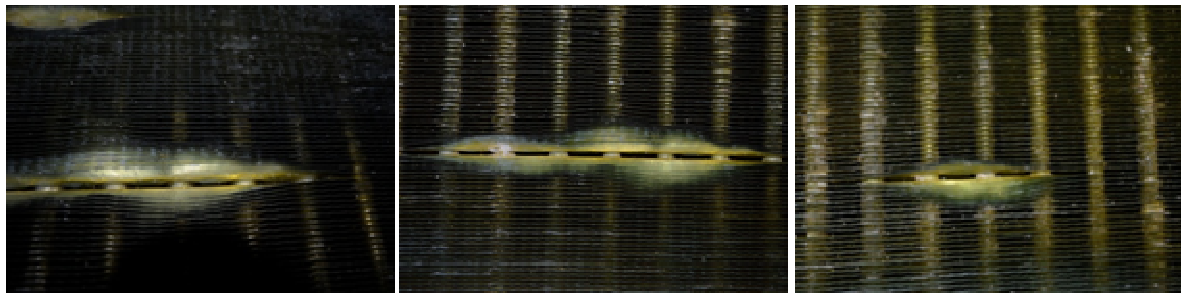


Figura 14 - Face superior do corpo de prova C3.

Fonte: Empresa estudada.

Ao avaliar a face dos corpos de prova, Figura 15, podemos observar que o corpo de prova C1 apresentou uma corrosão acentuada em relação às outras amostras. O corpo de prova C2 apresentou uma corrosão inferior à apresentada pelo C1, porém foi se identifico o deslocamento do verniz epóxi, podemos concluir que a exposição das aletas na região de superfície foi à causa principal para o surgimento deste problema. O corpo de prova C3 apresentou uma resistência à corrosão elevada quando comparado com as amostras C1 e C2, demonstrando ser a melhor solução para ser empregada em trocadores de calor de liga A8006 Gold.

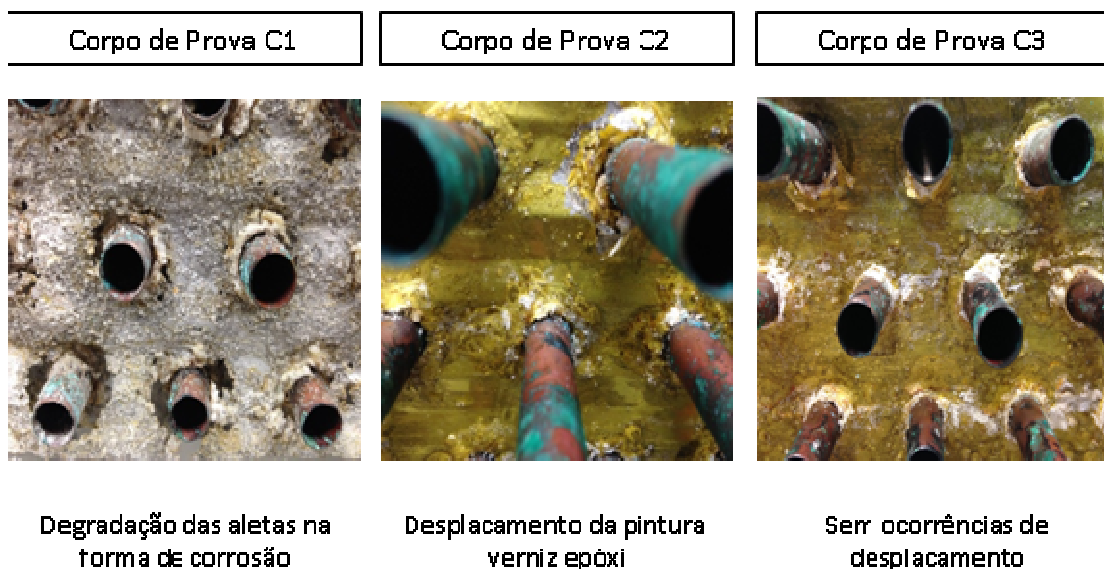


Figura 15 - Face frontal dos corpos de prova.

Fonte: Empresa estudada.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, pode-se concluir que, para a liga estudada, a aplicação de camadas protetoras de verniz epóxi e aplicação de epóxi após as etapas de conformação demonstradas no corpo de prova C3, aumentaram significativamente a resistência a oxidação e corrosão do alumínio. O objetivo geral deste estudo - estudar os impactos

dos revestimentos na corrosão de trocadores de calor - foi alcançado, uma vez que foram relatados e analisados os resultados dos testes aplicados nos corpos de provas objeto deste estudo.

Os revestimentos foram altamente eficientes na proteção do substrato contra a oxidação e corrosão, sendo que o revestimento utilizado no corpo de prova C3 constituído de uma proteção de verniz epóxi, adicionado à aplicação da pintura após o processo de fabricação, apresentou o melhor desempenho dentre os estudados, onde foram constatadas suas resistências à corrosão superiores aos corpos de prova C1 e C2. Portanto, os revestimentos produzidos por verniz epóxi e pintura epóxi são alternativas altamente promissoras para o melhoramento da proteção das ligas de alumínio estudadas neste estudo.

Durante as pesquisas sobre as publicações e trabalhos mais recentes sobre corrosão de alumínio, foram encontrados muitos estudos no âmbito acadêmico, entretanto foi possível identificar uma lacuna no âmbito prático com aplicação industrial. Desta forma sugere-se que este sistema desenvolvido durante este estudo, seja analisado em ambientes de testes que representem as condições de aplicação real, uma vez que o teste foi realizado por meios laboratoriais que não podem reproduzir a atmosfera do meio natural em sua totalidade.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHI, H., ERSHAD-LANGROUDI, A., SALIMI, A., RAHIMI, A., Anticorrosive Coatings Prepared Using Epoxy-Silica Hybrid Nanocomposite Materials Industrial & Engineering Chemistry Research 2014 53 (27), 10858-10869
- ABNT. Alumínio e suas ligas - classificação. NBR 6834, v., n. p. 2000.
- ALUMINUM ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.aluminum.org/>>. Acesso em 09 de setembro. 2015.
- COST OF CORROSION. Disponível em: <<http://www.corrosioncost.com/home.html>>. Acesso em 01 de setembro. 2015.
- FRAU, A. F., PERNITES, R. B., & ADVINCULA, R. C. (2010). A conjugated polymer network approach to anticorrosion coatings: Poly(vinylcarbazole) electrodeposition. Industrial and Engineering Chemistry Research, 49(20), 9789-9797.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002
- JIJU, ANTONY. (2001). Improving the manufacturing process quality using design of experiments: A case study. International Journal of Operations & Production Management, 21(5/6), 812-822. DOI: 01443570110390499
- LIMITES DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS LIGAS DE ALUMÍNIO. Disponível em: <<http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Negocios/Aluminio/Documents/Cat%C3%A1logo%20Laminados.pdf>>. Acesso em 07 de setembro. 2015.
- LIRA, LETÍCIA PEREIRA. Avaliação da resistência ao desgaste e à corrosão de revestimentos aspergidos termicamente em liga de alumínio AA 7475 [online]. São Carlos : Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado em Materiais. [acesso 2015-09-11]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18150/tde-29082013-102825/>>.
- MIGUEL, PAULO AUGUSTO CAUCHIK (Org.). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 8. ed. New York, USA: John Wiley, 2013.
- PEREIRA, MARINALDA CLAUDETE., Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" Faculdade De Engenharia. (2010). Estudo morfológico e cinético da corrosão por pites em liga de alumínio 1050 /. http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/174292?locale=pt_BR
- TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.
- VIOMAR, ALINE ET AL. Aplicação de SAM em liga de alumínio AA 2024-T3 com desengraxe alcalino. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 93-98, Mar. 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672012000100013&lng=en&nr=iso>. access on 07 Sept. 2015. DOI: S0370-44672012000100013.
- YANJIE LIU, ZHENYAO WANG, WEI KE, Study on influence of native oxide and corrosion products on atmospheric corrosion of pure Al, Corrosion Science, Volume 80, March 2014, Pages 169-176, ISSN 0010-938X, DOI i.org/10.1016/j.corsci.2013.11.027. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X1300509X>)
- SILVA, Daiane Piva Barbosa da. Desenvolvimento de estruturas do tipo bi-camada baseadas em camadas auto-organizadas e polianilina para a proteção contra a corrosão de ligas de alumínio [online]. São Carlos : Instituto de Química de São Carlos,

Universidade de São Paulo, 2010. Dissertação de Mestrado em Físico-Química. [acesso 2015-09-13]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-13082010-152925/>>.

SZURKALO, Margarida. Investigação do efeito de moléculas auto-organizáveis na resistência à corrosão da liga de Alumínio 1050 [online]. São Paulo : Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2009. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais. [acesso 2015-09-13]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-23092011-162659/>>.