

# PROCESSO DE CORROSÃO E PASSIVAÇÃO DO ALUMÍNIO

**FREITAS, Elias Junior de; ROMANO, Martin Anibal**

ejunior007@hotmail.com

Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz

**Resumo:** A corrosão destrói materiais metálicos e não metálicos em contato com o meio ou ambiente, devido às interações de índole química e/ou mecânica, atingindo custos exorbitantes, o que evidencia a necessidade de compreender seus mecanismos a fim de buscar soluções de proteção e minimizar as perdas. Entretanto, sabe-se que em alguns materiais a oxidação é benéfica como, por exemplo, a do alumínio, fenômeno conhecido como passivação. O objetivo deste trabalho é, por meio de uma revisão de literatura, apresentar as características do processo de corrosão e a passivação do alumínio. A revisão aponta aspectos quanto aos problemas causados pela corrosão, destaca o alumínio, suas características e aplicabilidade. O processo e procedimentos de passivação são apresentados a partir de sua complexidade, fases de preparação e diretrizes; o destaque fica para a passivação no alumínio e as situações pertinentes, tais como a corrosão galvânica, uniforme, por pitting, intergranular do alumínio, fadiga e microbiológica. Concluiu-se que processo de passivação facilita a formação de uma fina película de óxido transparente que protege o alumínio da oxidação seletiva (corrosão). Considera-se, pois, que se trata de um tema vasto que merece da classe acadêmica e dos profissionais a continuação das investigações, a fim de que novas soluções sejam inseridas, principalmente no que se refere às questões ambientais.

**Palavras-chave:** Corrosão. Passivação. Alumínio.

**Abstract:** Corrosion destroys metallic and non-metallic materials in contact with the environment or environment, due to chemical and / or mechanical interactions, reaching exorbitant costs, which highlights the need to understand their mechanisms in order to seek protection solutions and minimize losses. However, it is known that oxidation is beneficial in some materials, such as aluminum, a phenomenon known as passivation. The aim of this paper is, through a literature review, to present the characteristics of the corrosion process and the passivation of aluminum. The review points out aspects regarding the problems caused by corrosion, highlights the aluminum, its characteristics and applicability. The passivation process and procedures are presented from their complexity, preparation stages and guidelines; The highlight is aluminum passivation and relevant situations such as galvanic, uniform, pitting, aluminum intergranular, fatigue and microbiological corrosion. It was concluded that passivation process facilitates the formation of a thin transparent oxide film that protects aluminum from selective oxidation (corrosion). Therefore, it is considered that this is a vast theme that deserves from the academic class and the professionals the continuation of the investigations, so that new solutions are inserted, especially with regard to environmental issues.

**Keywords:** Corrosion. Passivation. Aluminum.

# 1 INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida como a destruição dos materiais metálicos e não metálicos em contato com o meio ou ambiente, devido às interações de índole química e/ou mecânica. Os custos atingem somas astronômicas, na indústria naval, \$ 16 bilhões por ano nos EUA; na indústria automóvel, \$ 300 milhões por ano na Finlândia e 0,25% do PIB nos EUA; restauro da Torre Eiffel - França (7 000 t de aço), \$ 40 milhões cada 7 anos (50-60 t de tinta); restauro da Estátua da Liberdade - EUA devido à corrosão interna galvânica, mais de \$ 300 milhões; na área da produção de energia, \$ 5-10 bilhões por ano nos EUA; 2% do PIB (\$ 50 bilhões) na Austrália, 3-5% do PIB (\$ 10-15 bilhões) na Suíça, 4% do PIB (\$ 300 bilhões) nos EUA, entre outros. Os números apresentados mostram que a corrosão é um flagelo da Sociedade Moderna, dado que as perdas anuais dela resultantes, não contabilizando as de natureza humana, são da ordem de muitas centenas de bilhões de euros (MARTINS, 2012).

Nesse sentido, observa Gentil (2007), é permanente a necessidade de entender os mecanismos corrosão e de proteção que atuam entre os diversos materiais e os meios corrosivos de forma a minimizar tais perdas. Os materiais metálicos, quando expostos a alguns meios corrosivos, tendem a corroer. Sendo que em alguns destes materiais a oxidação é benéfica. Trata-se da oxidação do cromo e do alumínio, fenômeno conhecido como passivação, que ocorre na presença de oxigênio, permitindo com isso a formação de óxido de cromo e de alumínio. Em ambos os materiais forma-se um filme de óxido de excelente resistência a alguns meios corrosivos.

Pode também metais como alumínio, corroer-se promovendo a dissolução contínua, acarretando perda de massa do metal. Diz-se que neste caso o metal encontra-se ativo. A tendência de um metal à passivação num dado meio, determina seu comportamento eletroquímico (LIMA; TREVISAN, 2001).

O processo de passivação é um fenômeno superficial e é bastante complexo, conseqüentemente, as tentativas de explicá-lo são geralmente restringidas às distintas partes do processo. É um processo natural, o qual pode ser entendido como sendo a reação que ocorre entre as espécies metálicas e as substâncias contidas nesse meio. Essa reação de passivação também pode ocorrer à temperatura ambiente e formar produtos de oxidação, que agem na proteção do metal, tornando esta superfície mais estável ao meio. As superfícies de alumínio possuem uma elevada afinidade com o oxigênio, logo o metal é recoberto sempre com uma fina camada de óxido, fato este que identifica basicamente sua estabilidade química (HOLANDA; ABREU; LAVOR, 2016).

Mediante ao que foi exposto até aqui, o objetivo deste trabalho é, por meio de uma revisão de literatura, apresentar as características do processo de corrosão e passivação do alumínio.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Corrosão

Os problemas com a corrosão são freqüentes e atingem os mais variados ramos de atividade, dentre os quais podemos destacar as indústrias químicas, petroquímicas, petrolífera, naval, construção civil, automobilística, de transporte e de comunicação, entre outras. As conseqüências econômicas que atingem essas atividades incluem os seguintes elementos: reposição de equipamentos ou peças corroídas, sobredimensionamento de equipamentos, manutenção preventiva, desligamento de equipamentos devido às falhas ocasionadas pela

corrosão, perda de produtos em produção por contaminação direta de substâncias provenientes da corrosão, perda de produtos através de tubulações corroídas além de todo o prejuízo causado ao meio ambiente (RODRIGUEZ, 2003).

Pode-se então considerar que a corrosão implica num dos mais importantes fatores econômicos da atualidade. Em consequência, considerando a crescente demanda de minérios para a obtenção dos metais mais importantes, face ao aumento populacional, à progressiva industrialização, e à manufatura de produtos de baixa durabilidade e alta rotatividade, o preço dos recursos minerais e de sua transformação tenderá sempre a aumentar (METAL, 2000).

Essas preocupações há muito tempo, instigam pesquisadores a combater ou minimizar os problemas causados pela corrosão. A corrosão e a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Ação esta que se inicia na superfície resultando na passagem de seus componentes ao estado de combinação com as substâncias do meio a que estão expostos. Uma visão importante a se analisar é a forma como esta corrosão ocorre. Por exemplo, materiais metálicos na presença de meios ácidos se corroem. Já na presença de oxigênio tendem a formar óxidos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , etc) (GENTIL, 1996).

O fenômeno da corrosão envolve a interação entre um substrato, geralmente metálico, e um meio, do qual decorrem alterações indesejáveis no material, tais como: redução de propriedades mecânicas, precisão dimensional e desgaste. Em trocadores de calor, tem-se ainda, redução na eficiência térmica, decorrente da baixa condutividade dos óxidos superficiais formados (COSTA et al., 2014).

Considerando a corrosão como sendo a deterioração do material devido a uma reação (interação) com o meio, vale considerar que podem existir combinações do metal com o meio que são naturais ou desejáveis como no caso dos aços inoxidáveis e do alumínio expostos ao ar, o qual é conhecido como processo de passivação. A combinação do metal com o oxigênio forma um óxido protetor formado por uma camada superficial fina, que age na proteção do metal, tornando esta superfície mais estável ao meio. A resistência à corrosão do aço inoxidável é devido à oxidação eletroquímica do cromo que forma um filme passivo  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , estável, aderente e altamente resistente a diferentes meios corrosivos (RODRIGUEZ, 2003).

Um fator importante para a determinação da velocidade de corrosão é a passivação ou não do material. A passivação sugere a combinação do metal com o oxigênio, formando uma camada superficial fina de óxido protetor, tornando esta superfície mais estável ao meio. O filme passivo separa o metal do eletrólito e por consequência a velocidade de corrosão é reduzida significativamente (GEMELLI, 2001).

## 2.2 Alumínio

O alumínio é um metal altamente reativo principalmente com oxigênio, o qual gera um óxido, geralmente chamado de alumina e que aparece com grande variedade de formas cristalográficas. Quando há a presença de água ou umidade pode ocorrer o aparecimento de diferentes formas dos óxidos hidratados ou hidróxidos, dependendo das condições. Além disso, pode haver diversas fases cristalográficas, as quais podem ter diferentes isômeros. Ainda estes compostos de alumínio podem apresentar-se em formas cristalinas ou amorfas. O termo alumina é freqüentemente utilizado na literatura e comumente identificado sob diversas formas, sendo que a forma mais comum é  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , mineral chamado de corundum. Outras formas em que se pode apresentar o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são:  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\rho\text{-Al}_2\text{O}_3$  e  $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$  (GITZEN, 1970; UCHI et al., 2001; DIGNE et al., 2002).

As ligas de alumínio representam um importante grupo de materiais, em consequência do seu elevado valor tecnológico e da extensa gama de aplicações industriais, principalmente nas indústrias naval, aeroespacial, automotiva e doméstica. As baixas densidades combinadas

com características como: boa condutibilidade elétrica e térmica, elevada refletividade à luz e ao calor e excelente resistência à corrosão são fatores que contribuem para o uso e produção em larga escala dessas ligas (BADAWY; KHARAFI; EL-AZAB, 1998).

Do ponto de vista termodinâmico, o metal alumínio é um material instável, não existe na natureza sob a forma elementar, e a sua tendência natural é voltar à condição inicial de minério. Assim, ele seria um metal susceptível a corrosão em ambientes naturais. Contudo, o referido fenômeno de passivação, formação de uma camada de óxido ou hidróxido em sua superfície, torna o alumínio bastante resistente à corrosão na maior parte dos ambientes naturais (GENTIL, 2007).

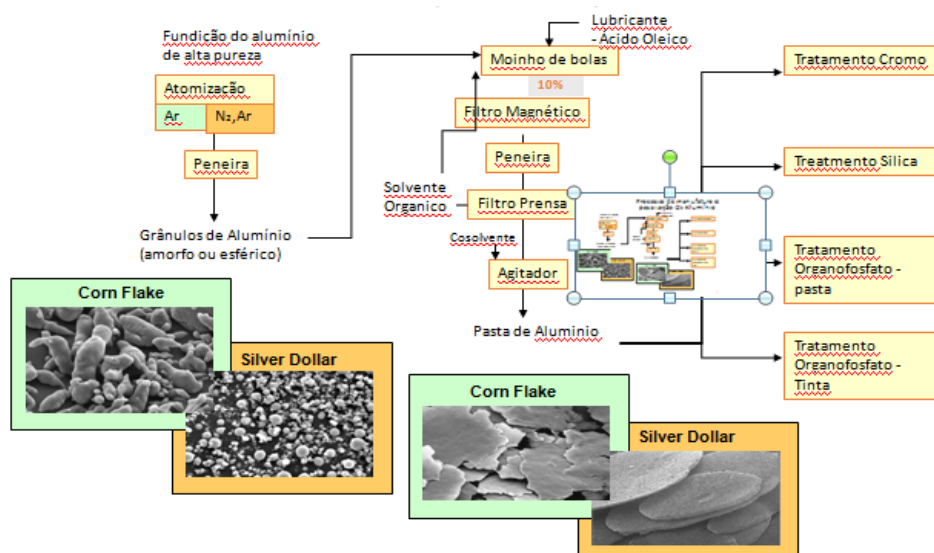
### 2.3 Passivação

O processo de passivação é complexo e, conseqüentemente, as tentativas de explicá-lo são geralmente restringidas às distintas partes do processo. Normalmente pode-se dividir o estudo do processo de passivação nos seguintes estágios: a adsorção química inicial do ar (ou do O<sub>2</sub> puro); o crescimento e a estrutura de uma fina película de óxido (que pode ou não ser um óxido); o término da passivação (saturação), e ainda, a resistência ou sacrifício da superfície ao eventual ataque do meio corrosivo em estudo (RODRIGUEZ, 2003).

Passivação pode ainda ser definida como um processo de limpeza/tratamento final usado para remover ferro livre ou outros contaminantes anódicos das superfícies de peças de aço resistentes à corrosão onde de maneira a se obter a formação uniforme de uma superfície passiva. Este tratamento induz um potencial mais nobre (catódico) na peça superfície da peça, assim melhorando a resistência à corrosão (BANES, 1990).

O processo de manufatura e passivação de flocos de alumínio apresentado na Figura 1, confirma a complexidade desse procedimento

**Figura 1** – Processo de manufatura e passivação de flocos de alumínio



1

Fonte: DuPont, s/d

O processo considerado como passivação implica numa baixa corrente de corrosão, lembrando que a corrosão sempre ocorre para a maioria dos metais, portanto apenas tentamos através de inúmeros processos diminuí-la, controlá-la ou preveni-la. O processo corrosivo sempre ocorre devido à tendência natural que o metal processado tem de buscar a sua forma

mais estável, diminuindo a sua energia. Esta combinação geralmente será um óxido ou um sal (RODRIGUEZ, 2003).

A passivação resulta da formação de uma superfície quimicamente inerte, que maximiza a resistência à corrosão. O filme anódico de óxido/hidróxido é muito fino (10 a 50 Angstroms “Å”) e alto em óxido de cromo. A remoção de contaminantes é crítica à vida da camada passiva e à redução de corrosão. Além disso, os benefícios da superfície passivada são o aumento da proteção à corrosão e superfície livre de contaminantes que levam a uma maior vida do sistema e pureza dos fluidos do processo (MORELLATO, 2019).

Há muitos parâmetros físicos importantes na medição de uma superfície resistente à corrosão incluindo: área da superfície (rugosidade), profundidade da camada de óxido, razão de cromo para ferro e inclusões contaminantes na superfície. Inspeções periódicas do sistema e desempenho de limpeza e passivação de precisão são exigidos para garantir a manutenção da camada passiva (MORELLATO, 2019).

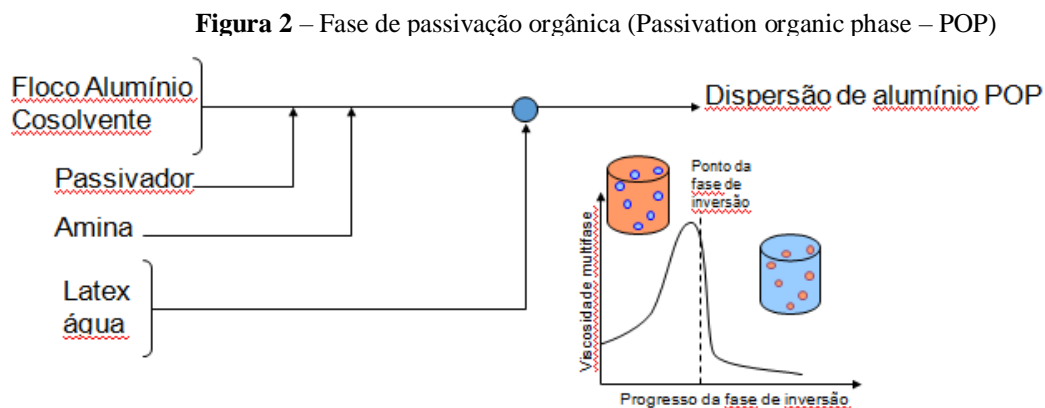
### ***Procedimentos de passivação***

De acordo com Morellato (2019) vários procedimentos estão disponíveis para passivação; eles têm em comum quatro principais fases que são:

1. Lavagem (Desengraxamento por Solvente);
2. Enxágüe com água;
3. Lavagem com ácido (Fase de Passivação);
4. Enxágüe final com água.

A preparação apropriada da superfície do metal para obter um filme passivo uniforme e sem defeitos ordena que a superfície do metal seja completamente limpa e isenta de qualquer sujeiras orgânicas ou inorgânicas, ferro livre, contaminantes metálicos, ou produtos corrosivos.

A Figura 2 realça a fase de passivação orgânica.



Fonte: DuPont, s/d

A **Primeira Fase** (Desengraxamento) do procedimento é designada para remover sujeira, pó, óleo, e graxa. Um detergente solúvel em água é usado para realizá-la, ou um solvente.

A **Segunda Fase** (Enxágüe com água) é exigida para remover sujeiras dissolvidas e livres e o próprio detergente do metal a ser limpo.

A **Terceira Fase** (Lavagem ácida) é para remover ferro livre, resíduos metálicos, óxidos, e outros produtos de corrosão da superfície do metal. Removendo estas sujeiras da

superfície do metal e fornecendo uma atmosfera oxidante, o filme passivo pode se formar e a passivação é realizada. Ácidos inorgânicos são geralmente usados nesta fase do procedimento.

A **Quarta Fase** (Enxágüe final com água) – A solução acidificada é circulada e o sistema é enxaguado até a qualidade de o efluente ser igual aquela do afluente.

A Sociedade Americana para Materiais e Testes (American Society for Testing and Materials), ASTM A 380-99, “Norma de Prática Recomendada para Limpeza e Desincrustação de Peças, Equipamentos e Sistemas de Aço Inoxidável”, é uma excelente fonte de informação sobre passivação. Ela inclui procedimentos de limpeza e passivação, aplicações químicas, metodologia, e procedimentos de teste. A norma é valiosa para estabelecer procedimentos de passivação específicos e outros procedimentos de limpeza especializados.

O estabelecimento de um procedimento de passivação efetivo pode ser obtido utilizando as seguintes diretrizes:

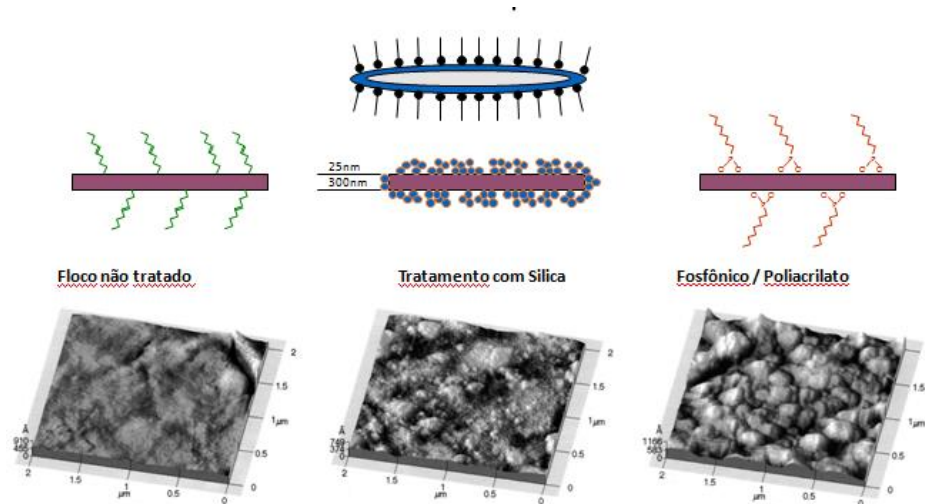
- Começar com um procedimento aceito ou especificado;
- Obter corpos de prova soldados do sistema ou ter corpos de prova soldados fabricados para propósito de testes;
- Realizar procedimento especificado com procedimentos alternativos para oferecer uma escolha, indo de encontro com situações ou solicitações específicas;
- Confirmar a efetividade dos procedimentos testados com testes de laboratório e/ou campo especificados;
- Este processo para confirmação da efetividade de um procedimento especificado ou procedimentos alternativos qualificados devem ser incluídos na documentação de passivação sendo submetidos como parte do pacote final de validação (MORELLATO, 2019).

## 2.4 Passivação em ligas de alumínio

O alumínio é um material extremamente reativo, entretanto, apresenta uma elevada resistência à corrosão devido à passivação. Basicamente, o alumínio fica mais nobre (menor atividade) por ação desta película óxida, que tem uma boa aderência à superfície e acaba impedindo que um volume maior do material seja corroído. Por outro lado, a passivação não torna o alumínio imune à corrosão (MARTENDAL, 2016).

A Figura 3 traz os modelos e topografias das superfícies de alumínio, destacando o floco não tratado, tratamento com sílica e fosfônico/poliacrilato.

**Figura 3** – Modelos e Topografias das superfícies de alumínio



Fonte: DuPont, s/d

### ***Corrosão galvânica do alumínio***

É a situação que mais provoca corrosão no alumínio e suas ligas. Em uma reação de oxirredução, o metal mais nobre reduz e o menos nobre oxida. Em outras palavras, sofre corrosão o metal menos nobre. Assim, apesar de o óxido diminuir a propensão do alumínio à corrosão, ainda existem metais que serão mais nobres do que alumínio passivado. Caso em contato com algum desses materiais, diretamente ou por meio de algum eletrólito, o alumínio sofrerá, portanto, corrosão galvânica (MARTENDAL, 2016).

### ***Corrosão uniforme do alumínio***

Ocorre na presença de soluções com pH extremos, isto é, muito elevados ou muito baixos. Nesses casos, o óxido que reveste o alumínio torna-se instável, perdendo sua eficiência protetiva. Para o alumínio, espera-se que esse tipo de corrosão aconteça em meios com pH acima de 9 ou abaixo de 3 (MARTENDAL, 2016).

### ***Corrosão por pitting do alumínio***

Quando em contato com eletrólitos com íons cloreto, o alumínio pode sofrer esse tipo de corrosão se estiver a um potencial acima de um valor limite conhecido como “potencial de pitting”. Nesse caso, ocorre um tipo de corrosão mais localizada e, portanto, de mais difícil detecção. Geralmente, a reação degradativa inicia-se em defeitos na superfície do material, tais como contornos de grão ou partículas de segunda fase (MARTENDAL, 2016).

### ***Corrosão intergranular do alumínio***

É mais comum nas ligas de alumínio do que no metal puro e consiste em um ataque seletivo dos contornos de grão ou regiões adjacentes devido a diferenças de potencial entre o grão e seus contornos, associados normalmente à presença concentração de elementos de liga na região. Um caso especial dessa corrosão dá-se após algum processo mecânico que envolva deformação severa da liga e em que não haja recristalização dos grãos. Nesse caso conhece-se o fenômeno corrosivo pelo nome de corrosão por exfoliação (MARTENDAL, 2016).

### ***Corrosão por fadiga do alumínio***

É um tipo de corrosão predominantemente transgranular. Para que esta aconteça, são necessários a presença de água e stress cíclico do material, estando normalmente associada à ambientes severos, tais como os que contêm íons cloreto (água do mar ou soluções salinas). Nesse caso, trincas de fadiga são formadas e propagadas rapidamente devido às condições do ambiente e do estado de tensões no material (MARTENDAL, 2016).

### ***Corrosão microbiológica do alumínio***

Trata-se de quando a corrosão é causada ou agravada por microorganismos. Nesse caso, procura-se aumentar a esterilidade do meio que circunda o material, eliminando esses seres vivos. Para isso, recorre-se até mesmo a pesticidas (MARTENDAL, 2016).

Alguns autores consideram que a passivação seja causada por um filme de óxido formado na superfície metálica, ou a um estado “oxidado” que impede o contato direto entre metal e meio corrosivo. Estudos recentes consideram que a resistência a corrosão das ligas de alumínio esta associada à presença de um filme fino e compacto de óxido de alumina ( $Al_2O_3$ ), que se desenvolve naturalmente na superfície das ligas sob condições atmosféricas normais. A espessura desse filme protetor cresce muito mais rapidamente na água do que no ar, formando-se filmes mais espessos na ausência de oxigênio. A espessura normal desse tipo de filme é da ordem de 5 nanômetros (EZUBER; EL-HOUD; EL-SHAWESH, 2007; VERA; DELGADO; ROSALES, 2006; ALUMINIO, 2019).

A proteção contra corrosão fornecida por essa película varia, entre outros, de acordo com a composição de liga, microestrutura e meio corrosivo. A alteração de algum desses fatores influencia diretamente a velocidade e morfologia da corrosão (ABREU et al., 2012).

Nas ligas de alumínio, a formação de pite está associada a uma divisão em pontos específicos da película de óxido, quando a liga está exposta em ambientes contendo íons haleto, dos quais o cloreto é o mais comum. A intensidade do ataque corrosivo por pite é influenciada pela concentração do haleto, temperatura, velocidade de fluido e pH. Geralmente, a formação do pite nas ligas de alumínio ocorre na presença de um eletrólito em uma faixa de pH entre 4,5 e 8,5 e tende a aumentar com o aumento da temperatura e concentração de íons agressivos (SZKLARSKA, 1998; ABREU et al., 2012).

Diferentemente da corrosão por pite, a corrosão intergranular se caracteriza por ocorrer em torno de contornos de grãos, visíveis somente em análises metalográficas. Alguns autores consideram que a corrosão intergranular ocorre como sendo o resultado da célula galvânica criada entre o contorno anódico e o interior do grão catódico. A região do contorno de grão torna-se anódica devido à presença de uma fase ou mais fases precipitadas com potencial diferente da matriz (SVENNINGSEN; LARSEN; NORDLIEN, 2005; ALUMINIO, 2019).

A ocorrência da corrosão intergranular está associada a mecanismos que aumentam a probabilidade de precipitação de fases nos contornos de grãos. O resfriamento rápido após o tratamento térmico de solubilização reduz a precipitação nos contornos de grãos, no entanto, maiores taxas de resfriamento não são desejáveis, pois podem introduzir tensões residuais no material. O super envelhecimento diminui a sensibilidade da liga a corrosão intergranular, devido ao engrossamento das partículas nos contornos de grãos e na matriz proporcionando a redução nas diferenças do potencial entre a fronteira e o interior do grão (SVENNINGSEN; LARSEN; NORDLIEN, 2005).

Outro fator que contribui para uma mudança nas condições de corrosão em uma fenda é uma diminuição no potencial do interior para a superfície livre do metal. Para as ligas de alumínio em soluções de 0,5 M de NaCl as diferenças de potencial entre a fenda e a superfície pode alcançar 270 mV. Nesse caso o agravamento da corrosão na fenda é causado



predominantemente por um contato com a superfície livre (SINYAVASKII; KALININ, 2004).

O meio corrosivo no qual o metal se encontra é determinante nas condições de corrosão. Entre os meios naturais, onde as ligas de alumínio podem ser amplamente utilizadas, a água do mar é o eletrólito mais corrosivo. Em sua composição mineral, estão presentes uma complexa composição de sais marinhos, entre eles se destacam o NaCl e o MgCl<sub>2</sub> por sua importância no processo corrosivo (SINYAVSKII; KALININ, 2004).

O efeito do cloreto de sódio, na corrosão, deve-se ao fato de este sal ser um eletrólito forte, ocasionando, portanto, aumento de condutividade, que é fundamental no mecanismo eletroquímico de corrosão. Quando exposto em meios contendo íons haletos, o filme de óxido quebra em pontos específicos, levando a formação de pequenas cavidades (pites) na superfície do alumínio (EZUBER; EL-HOUD; EL-SHAWESH, 2007).

### 3 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho considera-se que o objetivo proposto foi alcançado, visto que foi possível, apresentar as características do processo de corrosão e passivação do alumínio.

Dentro desta perspectiva foram destacados aspectos quanto à corrosão do alumínio e os procedimentos referentes à complexidade da passivação, ficando evidente a relevância desse processo que facilita a formação de uma fina película de óxido transparente que protege o alumínio da oxidação seletiva (corrosão). A tendência de um metal à passivação num dado meio, determina seu comportamento eletroquímico.

O processo de passivação é um fenômeno superficial e é bastante complexo, conseqüentemente, as tentativas de explicá-lo são geralmente restringidas às distintas partes do processo. É um processo natural, o qual pode ser entendido como sendo a reação que ocorre entre as espécies metálicas e as substâncias contidas nesse meio.

Essa reação de passivação também pode ocorrer à temperatura ambiente e formar produtos de oxidação, que agem na proteção do metal, tornando esta superfície mais estável ao meio. As superfícies de alumínio possuem uma elevada afinidade com o oxigênio, logo o metal é recoberto sempre com uma fina camada de óxido, fato este que identifica basicamente sua estabilidade química.

Vale observar que, embora existam muitas variações de soluções de passivação, a escolha mais frequente continua sendo a de soluções nítrico-ácido-base. Entretanto, pesquisas vêm tomando forma para desenvolver processos e soluções alternativas que são mais benéficas ao meio ambiente, mas igualmente eficazes.

Considera-se, pois, que se trata de um tema vasto que merece da classe acadêmica e dos profissionais, a continuação das investigações, a fim de que novas soluções sejam inseridas, principalmente, como citado anteriormente, nas questões ambientais.

### REFERÊNCIAS

ABREU, F. et. al. **Avaliação da resistência à corrosão da liga de alumínio 6101 após diferentes tratamentos térmicos de precipitação.** *Corros. Prot. Mater.*, v. 31, n. 3/4, p. 65-70.

ALUMÍNIO. Disponível em: <[http://www.infomet.com.br/metalse-ligas-conteudos.php?cod\\_tema=10&cod\\_secao=11&cod\\_assunto=59](http://www.infomet.com.br/metalse-ligas-conteudos.php?cod_tema=10&cod_secao=11&cod_assunto=59)>. Acesso em: 13 nov. 2019.

BADAWY, W. A. A.; EL-AZAB, A. S. *Corros. Sci.*, v. 41, n. 709, 1998.

BANES, P. H. **Passivation: understanding and performing procedures on austenitic stainless steel systems.** *Pharmaceutical Engineering*, v. 10, n. 6, nov./dec. 1990.

COSTA, R. C. et. al. **Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos metálicos depositados por aspersão térmica a arco: uma aplicação em trocadores de calor.** *Soldag. Insp. São Paulo*, v. 19, n. 04, p.292-301, out/dez 2014.

DIGNE, M. et. Al. **Structure and stability of aluminium hydroxides: A theoretical study.** *J. Phys. Chem. B.* v. 106, p. 5155-5162, 2002.

**DUPONT.** Automotive Systems. Performance Coatings. The miracles of science, S/d.

EZUBER, H.; EL-HOUD, A.; EL-SHAWESH, F. *Mater. Design*, v. 29, n. 801, 2007.

GEMELLI, E. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização.** Rio Janeiro: LTC, 2001.

GENTIL, V. *Corrosão.* 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

GITZEN, W. H. Alumina as ceramic material. Columbus- Ohio: The American Ceramic Society. 1970.

HOLANDA, J. O.; ABREU, J. R.; LAVOR, D. A. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, v.02, n. 8, p.34-38, dez. 2016.

LIMA, C. C. ; TREVISAN, R. **Aspersão térmica: fundamentos e aplicações.** São Paulo: Artliber, 2001.

MARTENDAL. **Alumínio tem problemas com corrosão.** Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2016/10/12/aluminio-nao-tem-problemas-com-corrosao-certo-ou-errado/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

MARTINS, J. I.; MARTINS, F. P. **A corrosão: a outra perspectiva de abordagem.** *Corros. Prot. Mater.*, v. 31, n. 3/4, p. 60-64, 2012.

METAL COATINGS BRASIL. **Corrosão.** Informativo técnico, Diadema, n. 1 p. 1-4, jun 2000.

MORELLATO, F. **A influência da passivação no desempenho de componentes e equipamentos de aços inoxidáveis utilizados na indústria de processo de alta pureza.** Disponível em: <[https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/Passiv\\_farma.pdf](https://www.grupohumma.com.br/biblioteca/Passiv_farma.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

RODRIGUEZ, R. M. H. P. **Formação de óxidos nos revestimentos de alumínio depositados por aspersão térmica.** Tese (Doutorado). Programa Interdisciplinar de Pós

Graduação em Engenharia. Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia.  
Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 121f.

SINYAVSKII V. S.; KALININ, V. D. *Prot. of Met+*, v. 41, n. 317, 2004.

SVENNINGSSEN, G.; LARSEN, M. H.; NORDLIEN, K. N. *Corros. Sci.*, v. 48, n. 58, 2005.

SZKLARSKA, S. Z. Szklarska, *Corros. Sci.*, v. 41, n. 1743, 1998.

UCHI, H.; KANNO, T. ALWITT, R. S. **Structural Features of Crystalline Anodic Alumina Films.** *Journal Electrochem. Soc.* v. 148, n.1 p. B17-B23, 2001.

VERA R.; DELGADO, D.; ROSALES, B. M. *Corros. Sci.*, v. 48, n. 2882, 2006.