

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

ESTHER OLIARI SELANI

Corrosão em Materiais Metálicos: Implicações na Aeronáutica e Construção Civil e  
Estratégias de Avaliação

BAURU

2023

ESTHER OLIARI SELANI

Corrosão em Materiais Metálicos: Implicações na Aeronáutica e Construção Civil e  
Estratégias de Avaliação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Química -  
Centro Universitário Sagrado Coração.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Carvalho  
Dias

BAURU

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas especiais que estiveram ao meu lado e me apoiaram em educação, afeto e suporte:

A Deus, a fonte da vida.

Aos meus queridos pais, Jesmar Cremer Selani e Eliana Oliari Selani, por todo o amor.

Aos meus avós, Amandos e Marina Oliari, e em memória de Laura Cremer Selani, pela história e incentivo.

Ao meu amado, Francisco Marcelino, pelo carinho.

Às minhas amigas, Débora Scucuglia, Marina Tavares e Marcela Labadessa, por estarem ao meu lado.

Ao meu orientador, José Augusto de Carvalho Dias, pela orientação e apoio.

A minha professora, Beatriz Antoniassi, pelo ensino e amizade.

# **Corrosão em Materiais Metálicos: Implicações na Aeronáutica e Construção Civil e Estratégias de Avaliação**

Selani, E. O.<sup>1</sup>; Dias, J.A.C.<sup>2</sup>

## **RESUMO**

O artigo científico em questão aborda o fenômeno da corrosão, especialmente em materiais metálicos. A pesquisa destaca a importância de entender este processo, principalmente no contexto aeronáutico, onde a integridade e capacidade de carga das estruturas podem ser gravemente comprometidas pela corrosão. O estudo identifica materiais específicos que apresentam uma suscetibilidade notável à corrosão por pites aplicados na construção civil e na aviação. A necessidade de avaliações rigorosas da deterioração é enfatizada, utilizando-se de inspeções visuais e uma variedade de ensaios. Em um estudo de caso específico, a corrosão em estruturas de betão armado é examinada, ressaltando os principais agentes de deterioração e a relevância de revestimentos protetivos. A pesquisa conclui sublinhando a importância de análises temporais e a influência de variáveis, como a espessura do material, na resistência à corrosão.

**Palavras-chave:** Corrosão; Materiais metálicos; Deterioração; Análises temporais.

## **ABSTRACT**

The scientific article in question addresses the phenomenon of corrosion, particularly in metallic materials. The research underscores the importance of understanding this process, especially in the aeronautical context, where the integrity and load-bearing capacity of structures can be severely compromised by corrosion. The study identifies specific materials that exhibit notable susceptibility to pitting corrosion in both civil construction and aviation. The need for rigorous assessments of deterioration is emphasized, utilizing visual inspections and a variety of tests. In a specific case study, corrosion in reinforced concrete structures is examined, highlighting the primary agents of deterioration and the relevance of protective coatings. The research concludes by emphasizing the importance of temporal analyses and the influence of variables such as material thickness on corrosion resistance.

**Keywords:** Corrosion; Metallic materials; Deterioration; Temporal analyses.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Química pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO), e-mail para contato: estherselani@gmail.com

<sup>2</sup> Professor doutor docente do Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO), e-mail para contato: jose.dias@unisagrado.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação física, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Ela é um processo espontâneo e contínuo que está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho destes ao longo do tempo deixam de satisfazer os fins a que se destinam (SIGAGNA, 2014).

Na investigação dos efeitos estruturais da corrosão em armaduras da construção civil, examinando seu impacto na capacidade de carga e no comportamento das estruturas de betão armado, as consequências envolvem a perda de seção do aço, delaminação e fissuração do material, bem como a redução ou perda da aderência. O principal efeito prejudicial da corrosão nas estruturas é uma redução significativa na capacidade de carga ou até mesmo o colapso estrutural, portanto, na avaliação de estruturas deterioradas, o aspecto corrosivo deve ser minuciosamente considerado (APPLETON; COSTA; FRANÇA, 2004).

No estudo sobre a deterioração dos materiais presentes nas aeronaves, existem vários tipos de corrosão que podem ocorrer e devem ser observadas durante a fabricação e montagem de peças, como a corrosão por pites, corrosão intergranular, corrosão por frestas, corrosão galvânica e corrosão por tensões. Este fenômeno deve ser evitado principalmente nas estruturas primárias das aeronaves, indispensáveis para a realização do voo. O processo de inspeção para identificação de corrosão envolve a realização de inspeções visuais, através de tampas e janelas de inspeção, e não visuais, como o uso de líquidos penetrantes para ensaios não destrutivos, ultrassom e radiografia (SIGAGNA, 2014).

A corrosão eletroquímica – frequentemente identificada como o tipo mais comum de corrosão na estamparia das peças que compõem as aeronaves – é um processo espontâneo que ocorre quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, onde ocorrem simultaneamente as reações anódicas (oxidação) e catódicas (redução), resultando na deterioração das partes metálicas. Tais eletrólitos, nos processos industriais, podem ser: a água de enxágue, ar atmosférico com umidade e o suor corporal em contato com as peças sem revestimento protetivo. Além disso, a taxa de corrosão pode ser acelerada com o aumento da temperatura, da pressão e de altas concentrações do meio corrosivo (FRAUCHES-SANTOS).

Segundo Rocha Filho e Silva (2016), após testes para identificar a suscetibilidade à corrosão por pites em materiais metálicos, foram analisadas as curvas de polarização cíclicas para avaliação da resistência à corrosão das ligas metálicas, e as que apresentaram maior

suscetibilidade à corrosão por pites, foram o alumínio comercialmente puro (ACP) e o aço inoxidável austenítico (AISI 304).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A corrosão das estruturas metálicas pode levar a uma redução significativa da capacidade de cargas estruturais das peças de montagem. Isso ocorre porque a corrosão causa a perda de seção transversal delas, o que reduz a resistência mecânica. Além disso, a corrosão pode causar a delaminação das chapas, o que pode levar à fissuração e ao colapso da estrutura. Portanto, é importante avaliar o estado de deterioração em relação à corrosão das peças para garantir a segurança das pessoas e das aeronaves (APPLETON; COSTA; FRANÇA, 2004).

A avaliação do estado de estruturas deterioradas em relação à corrosão pode ser feita através de inspeções visuais, ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos. As inspeções visuais podem identificar sinais de corrosão, como fissuras, manchas de ferrugem e desagregação. Os ensaios não destrutivos, como a medição da resistência elétrica das armaduras, a análise de imagens de raios-X e ultrassonografia, assim como ensaios com Líquido Penetrante, podem fornecer informações sobre a extensão da corrosão e a integridade das peças. Os ensaios destrutivos, como a extração de núcleos e a realização de ensaios mecânicos, podem fornecer informações mais precisas sobre a resistência mecânica da estrutura e a extensão da corrosão (APPLETON; COSTA; FRANÇA, 2004).

De acordo com Silva, Almeida e Machado (2023), numa análise de estruturas de betão armado – da construção civil - os principais agentes de deterioração responsáveis pela corrosão das armaduras são a carbonatação e a penetração de íons cloreto. Esses fenômenos de degradação são resultado das ações de diferentes agentes de deterioração, os quais são influenciados por diversos parâmetros relativos tanto a características ambientais de exposição como a aspectos de natureza construtiva dos seus elementos estruturais.

Assim, conforme os parâmetros adotados do modelo da Especificação LNEC E-465 (2007), a metodologia permite estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil de projeto de estruturas pré-tensionadas ou não sob as exposições ambientais XC e XS (SILVA; ALMEIDA; MACHADO, 2023).

Em seu trabalho, Silva, Almeida e Machado (2023) concluíram que, apesar da ampla variedade de fatores, todos os modelos de determinação analisados apresentam potencial de melhoria e de adaptação. Além disso, os autores destacam que o constante aperfeiçoamento e desenvolvimento dos modelos de determinação dos processos de carbonatação e penetração de

íons cloreto são ações fundamentais para potencializar o prolongamento do ciclo de vida das estruturas.

Noutro estudo realizado sobre o revestimento galvanized (galvanizado), dá-se a importância da técnica na resistência à corrosão de um aço ao boro porque atua como uma barreira protetora contra a corrosão. O zinco presente no revestimento atua como anodo no sistema criado, sendo corroído preferencialmente ao ferro. Quanto maior a quantidade de zinco, maior a capacidade de proteção e maior o tempo demandado para que a corrosão do substrato seja iniciada. Além disso, o revestimento é capaz de melhorar a aderência da tinta ao aço, o que também contribui para a proteção contra a corrosão (MOREIRA, 2019).

A espessura da camada de revestimento galvanizado afeta diretamente a resistência à corrosão do aço ao boro. De acordo com o estudo apresentado por Moreira (2019), quanto maior a camada de revestimento inicial (antes da estampagem a quente), menor o avanço da corrosão e/ou do deslocamento de tinta. Além disso, a dissertação de mestrado apresentada avaliou o efeito da espessura da camada de revestimento na resistência à corrosão de um aço ao boro, através da realização de testes de corrosão em câmara de névoa salina (salt spray) e de testes acelerados cíclicos, que simulam diferentes condições ambientais. Os resultados indicaram que a espessura da camada de revestimento influencia significativamente a resistência à corrosão do aço ao boro, sendo que camadas mais espessas proporcionam maior proteção contra a corrosão.

## **2.1 Análise temporal da corrosão**

A progressão da corrosão em materiais pode ser visualizada através de uma análise temporal. A transição entre diferentes modos de corrosão, como a corrosão uniforme e a corrosão por pite, pode ser identificada ao longo do tempo. A análise temporal é crucial para compreender a evolução da corrosão em diferentes ambientes e condições (ITOH, 2022).

Para investigar o mecanismo de corrosão de metais e ligas, frequentemente são utilizadas análises eletroquímicas. No entanto, enquanto essas análises são úteis para estudar fenômenos de curto prazo, para investigações de comportamentos de longo prazo, especialmente em condições específicas, é necessário adotar uma abordagem mais física, que vá além das teorias eletroquímicas tradicionais (ITOH, 2022).

Num estudo realizado, uma das principais métricas utilizadas para avaliar a eficácia do inibidor de corrosão foi o método de perda de peso. Esse método, reconhecido por sua precisão e repetibilidade, envolveu a imersão de espécimes metálicos em uma solução de ácido clorídrico 0,5 M por um período de 4 horas. Ao longo do experimento, foi observado que a perda de peso dos espécimes variava conforme a concentração do inibidor utilizado. Em concentrações mais

elevadas do inibidor, a perda de peso foi significativamente reduzida, indicando uma proteção eficaz contra a corrosão. Os resultados destacam a importância de monitorar a perda de peso como um indicador direto da taxa de corrosão e da eficácia dos inibidores em ambientes corrosivos (ARSHAD; et al., 2023).

O artigo intitulado "Análise quantitativa da perda de massa por oxidação em barras de aço carbono CA-50" destaca a corrosão em armaduras de aço como um fator significativo de perda de desempenho em construções de concreto armado e enfatiza a necessidade de profissionais da construção civil terem conhecimento aprofundado sobre o tema. Utilizando um ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada (CAIM), o estudo desenvolve uma análise rápida do processo corrosivo, contribuindo para uma formação mais sólida em engenharia civil sobre processos corrosivos (LOPES; et al. 2020).

Na parte experimental deste artigo, no ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada (CAIM), foi escolhida uma análise rápida do processo corrosivo, possibilitando a avaliação visual da intensidade de corrosão ao longo do tempo. Através do método, os pesquisadores puderam caracterizar a dinâmica do processo corrosivo e compreender os processos que ocorrem nas armaduras de concreto armado, permitindo o cálculo e a comprovação da deterioração do processo corrosivo em barras de aço carbono CA-50 corrosivo.

Durante o ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada (CAIM), foi observado que as barras mais próximas da placa de aço galvanizado tiveram maior perda de massa. A taxa de corrosão é dada pela massa perdida em quantidade de tempo e a obtida no estudo foi de 21,26 mg/cm<sup>2</sup> por hora. As divergências entre os resultados experimentais e teóricos foram menores que 7%, validando a precisão do ensaio em simular a realidade da corrosão (LOPES; et al., 2020).

### **3 SIMULAÇÃO E ESTUDO DE CASO À PARTIR DA TAXA DE CORROSÃO**

Dada a taxa de corrosão identificada no teste conduzido por Lopes et al., este projeto analisa o efeito da corrosão em componentes metálicos sob as circunstâncias mais rigorosas, seguindo os critérios:

- a. A taxa de corrosão foi determinada por um teste de corrosão acelerada por imersão adaptado, que leva em conta situações extremas e não é equivalente às condições naturais;
- b. No estudo em questão, não se considera qualquer tipo de proteção para os componentes, seja por meio de processos de galvanoplastia, transformação química com ácido crômico hexavalente ou uso de primer;



c. A corrosão é percebida como homogênea em todo o sistema de tubulação.

Portanto, com o objetivo de avaliar o efeito da corrosão, foi realizada uma análise estrutural do material em foco – aço carbono CA-50 – em tubulações. A relevância desta pesquisa reside na utilização do material, visto que veículos e até aeronaves podem ser construídos a partir de um conjunto de tubulações feitas de aço carbono de baixa liga.

### **3.1 Dados fornecidos e Geometria da peça**

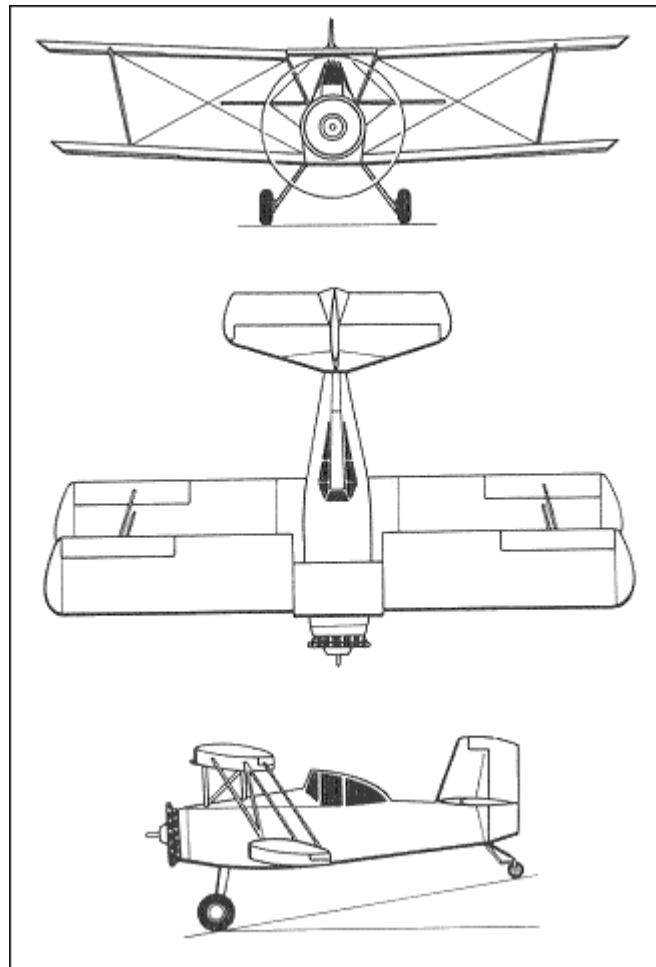
- Taxa de corrosão: 21,26 mg/cm<sup>2</sup> por hora
- Densidade: 7850 kg/m<sup>3</sup>
- Comprimento da barra: 117cm
- Diâmetro interno: 6cm
- Diâmetro externo: 8cm

### **3.2 Análise**

Calculando a taxa de perda de massa da barra devido à corrosão, em seguida, é possível determinar a taxa de diminuição da espessura da parede da barra. Finalmente, pode-se estimar quanto tempo levará até que a parede da barra fique fina demais e potencialmente falhe, seja em carregamento limite ou carregamento cíclico (fadiga).

Para o estudo, considerou-se a aeronave agrícola norte-americana Grumman Ag-Cat (figura 1), para um único passageiro e velocidade máxima, 236 km/h ou 65,6 m/s (GRUMMAN, 2023).

Figura 01 - GRUMMAN Ag-Cat: 1957



Fonte: (GRUMMAN, 2023)

### 3.3 Taxa de perda de massa

A taxa de perda de massa é calculada multiplicando a taxa de corrosão pela área superficial exposta. A área superficial exposta da barra cilíndrica é a soma das áreas interna e externa.

$$\text{Taxa de perda de massa} = \text{Taxa de corrosão} * \text{Área total} \quad I$$

$$\text{Área superficial total} = \text{Área superficial externa} + \text{Área superficial interna} \quad II$$

$$\text{Área superficial externa} = 2\pi * \text{raio externo} * \text{comprimento} \quad III$$

$$\text{Área superficial interna} = 2\pi * \text{raio interno} * \text{comprimento} \quad IV$$

$$\text{Taxa de perda de massa} = \frac{21,26\text{mg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} * (2 * \pi * 4\text{cm} * 117\text{cm} + 2 * \pi * 3\text{cm} * 117\text{cm}) \quad V$$

Portanto, a taxa de perda de massa é 109,40 g/h.

### 3.4 Taxa de diminuição da espessura da parede

A taxa de diminuição da espessura é determinada dividindo a taxa de perda de massa pela densidade do material e pela área superficial exposta. A densidade do aço carbono é geralmente considerada como 7,85 g/cm<sup>3</sup> ou 7850 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Taxa de diminuição da espessura} = \frac{\text{Taxa de perda de massa}}{\text{Densidade do aço} \cdot \text{Área superficial externa}} \quad \text{VI}$$

A taxa de diminuição da espessura é 2,71 µm/h.

### 3.5 Tempo até falha

Uma vez que é sabida a taxa de diminuição da espessura da parede, pode-se estimar quanto tempo levará até que a parede da barra fique muito fina e potencialmente falhe. Na maior parte das estruturas aeronáuticas, tem-se como padrão, adotar fator de segurança de 1,5. Este fator amplifica o dimensionamento das estruturas em 50% da carga limite de solicitação entregue segundo o carregamento usual. Por outro lado, os ciclos de carregamento em que a aeronave é submetida faz com que o principal fator de falha estrutural seja a fadiga. Para estimar a vida em fadiga, seria necessário a carga flutuante (tensora, fletora e torsora) na qual a peça seria sujeita ao longo dos carregamentos cíclicos. Por simplicidade, foi considerada uma análise estática levando em consideração a estrutura inicial e quando a espessura da parede se reduz à metade.

A espessura inicial da parede é 1 cm (8 cm - 6 cm / 2). Estima-se que a espessura da parede será reduzida à metade em um tempo de:

$$\text{Tempo para redução à metade} = \frac{\frac{1\text{cm}}{2}}{\frac{2,71\mu\text{m}}{\text{h}}} \approx 7,69 \text{ dias} \quad \text{VII}$$

Esta é uma estimativa simplificada e assume uma taxa de corrosão uniforme em toda a superfície da barra e tende a estudar a integridade da barra quando sua espessura for reduzida à metade. Na prática, a taxa de corrosão pode variar entre outros fatores, como concentrações locais de tensão, por exemplo, os quais podem influenciar a vida útil da barra. Além disso, a falha pode ocorrer antes da espessura ser reduzida à metade, dependendo das cargas aplicadas e das condições de serviço.

### 3.6 Análise de Carga de Vento

Em uma altitude idealizada de 1000 pés, onde a densidade do ar é aproximadamente 1,200 kg/m<sup>3</sup>, e considerando uma velocidade de vento estimada em 65,6 m/s (velocidade máxima de voo), a pressão do vento atuando sobre o tubo é dada por:

$$\text{Pressão do vento} = 0,5 * \rho * V^2 * C_d \quad \text{VIII}$$

Substituindo-se os valores, tem-se:

$$\text{Pressão do vento} = 0,5 * \frac{1200 \text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{65,6 \text{ m}^2}{\text{s}^2} * 1,2 = 47.232 \text{ Pa.}$$

Onde, a pressão do vento é medida em  $\text{Pa}$  ou  $\text{N/m}^2$ ,  $V$  é a velocidade do vento (em  $\text{m/s}$ ),  $\rho$  é a densidade do ar (em  $\text{kg/m}^3$ ). Adotou-se  $1,200 \text{ kg/m}^3$  para uma altitude de 1000 pés.  $C_d$  é o coeficiente de arrasto (neste caso, para um cilindro). Este valor varia dependendo da forma do objeto e das condições de fluxo, mas para um fluxo turbulento em um cilindro liso, é comumente assumido como 1,2.

Por fim, com os valores presentes, foi calculada a força do vento, determinada pela multiplicação da pressão do vento pela área do corte do para-brisa da aeronave, aproximadamente  $1 \text{ m}^2$ .

$$\text{Força do vento} = \text{Pressão do vento} * \text{Área do tubo} \quad IX$$

$$\text{Força do vento} = 47.232 \text{ Pa} * 1 \text{ m}^2 = 47.232 \text{ N.}$$

Portanto, esta pressão de 47.232 Pa, quando aplicada à área frontal projetada da aeronave agrícola, resulta em uma força total de vento de 47.232 N.

### 3.7 Avaliação da Resistência do Tubo à Carga de Vento

A tensão representa a intensidade da força interna que um material sente em cada unidade de sua área ao ser pressionado por uma força externa. Em um tubo cilíndrico que sofre uma força distribuída ao longo de sua extensão, a tensão de cisalhamento ao redor de sua circunferência (também chamada de tensão radial) é a mais crítica e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{\text{Força total atuando sobre o tubo (N)}}{\text{Área da seção transversal do tubo (m}^2\text{)}} \quad X$$

Sendo o cálculo específico da área da seção transversal da coluna central do cockpit:

$$\text{Área da seção transversal do tubo (m}^2\text{)} = \pi * (r \text{ externo}^2 - r \text{ interno}^2) \quad XI$$

Dessa forma, a área transversal é determinada por  $\pi * (8^2 - 6^2) \text{ cm}^2 = 87,92 \text{ cm}^2$ , e a tensão induzida pela força do vento no tubo,  $47.232 \text{ N} * \frac{10^4 \text{ m}^2}{87,92 \text{ m}^2} = 5,37 * 10^6 \text{ Pa}$ . Esta tensão representa a força interna por unidade de área que o tubo enfrenta devido à ação do vento. Se ultrapassar a tensão permitida do aço carbono, o tubo pode não resistir.

O limite de resistência indica a capacidade máxima de um material suportar carga sem deformação permanente. No caso do aço carbono, este valor é vital e frequentemente usado para avaliar a resistência de objetos feitos deste material. Um valor comum é 250 MPa, ou 250.000.000 Pa. Isso indica que, em condições normais e ignorando fatores como imperfeições ou áreas de alta tensão, esta liga pode suportar até 250 MPa sem deformar.

A tensão causada pelo vento no tubo é de 5.372.156 Pa. Para avaliar sua resistência, considerando o limite típico do aço carbono de 250 MPa e usando 60% desse valor (contemplando um fator de segurança), temos uma tensão permitida de 150 MPa. Como a tensão do vento é bem menor que a permitida, o tubo deve resistir à força do vento, a menos que a corrosão comprometa sua integridade.

Se a corrosão reduzir significativamente a espessura do tubo, a tensão do vento deve ser reavaliada com base na nova área transversal. Após 7,69 dias, tempo estimado para a espessura reduzir pela metade, a área é  $\pi * (4^2 - 3^2)cm^2 = 21,98 cm^2$ , e a tensão induzida pela força do vento no tubo,  $47.232 N * \frac{10^4 m^2}{21,98 m^2} = \sim 21,5 * 10^6 Pa$ .

Concluindo, mesmo com uma redução de 50% na espessura devido à corrosão, o tubo ainda deve suportar a força do vento. Contudo, essa análise sugere que ele está se aproximando de seu limite de resistência. Além disso, nota-se um aumento maior do que 300% em relação à tensão cisalhante na estrutura. Uma vez que aeronaves são geralmente projetadas com um fator de segurança de 1,5 a estrutura não resistiria ao mesmo envelope de voo da aeronave original.

É importante notar, no entanto, que estas análises são simplificadas e não levam em consideração muitos fatores que poderiam ser importantes em aplicações reais, como imperfeições na fabricação, concentrações locais de tensão, efeitos dinâmicos, entre outros.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em conclusão, observou-se que a questão generalizada da corrosão, particularmente em materiais de metal, é crucial nas áreas da aviação e construção civil. A degradação contínua e natural pode afetar gravemente a solidez e a eficácia dos materiais com o passar do tempo. Na indústria aeronáutica, várias formas de corrosão podem surgir, necessitando de um acompanhamento detalhado durante os estágios de produção e montagem. A análise ressalta o papel vital da corrosão eletroquímica, um fenômeno frequente em peças aeronáuticas, que ocorre quando metais ou ligas entram em contato com eletrólitos, provocando reações anódicas e catódicas concomitantes.

Adicionalmente, o estudo enfatiza a importância de avaliações meticolosas da degradação causada pela corrosão. Exames visuais, ensaios não invasivos e procedimentos

destrutivos proporcionam uma visão completa sobre a magnitude e consequências da corrosão. Com a crescente dependência global em estruturas metálicas, desde aviões a edifícios, compreender, supervisionar e combater a corrosão é essencial para assegurar proteção, durabilidade e eficiência máxima.

## 5 BIBLIOGRAFIA

APPLETON, J.; COSTA, A.; FRANÇA, P. **EFEITOS ESTRUTURAIS DA DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO**. 2004. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~crisrina/GDBAPE/Artigos/be2004-3-19.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

ARSHAD, Ifzan; QURESHI, Khizar; SALEEMI, Awais Siddique; ABDULLAH, Ali; BAHAJAJ, Aboud Ahmed Awadh; ALI, Shafaqat; BOKHARI, Awais. **Melamine–isatin tris Schiff base as an efficient corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 molar hydrochloric acid solution: weight loss, electrochemical and surface studies**. Rsc Advances, [S.L.], v. 13, n. 28, p. 19301-19311, 2023. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d3ra00357d>.

FRAUCHES-SANTOS, Cristiane; ALBUQUERQUE, Mariana A.; OLIVEIRA, Márcia C. C.; ECHEVARRIA, Aurea. **The Corrosion and the Anticorrosion Agents**. Revista Virtual de Química, Seropédica, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2013. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140021>. Disponível em: <file:///C:/Users/55149/Documents/USC/TCC/BIBLIOGRAFIA/mharaujo1993,+AureaFinal.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2023.

**GRUMMAN Ag-Cat**: 1957. 1957. Disponível em: [https://www.aviastar.org/air/usa/grumman\\_ag-cat.php](https://www.aviastar.org/air/usa/grumman_ag-cat.php). Acesso em: 28 out. 2023.

ITOH, Makoto. **Time-dependent power laws in the oxidation and corrosion of metals and alloys**. Scientific Reports, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-9, 28 abr. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-10748-1>.

LOPES, Francisco Luiz Campos; MONTEIRO, Michael Douglas Santos; MELO, Henrique Carvalho Santos; SIQUEIRA, Luan Martins; LOPES, Francisco Luiz Gumes. **Análise quantitativa da perda de massa por oxidação em barras de aço carbono CA-50: uma proposta metodológica para a contextualização do estudo da corrosão em cursos de engenharia civil/ifs**. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 28561-28575, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-341>.

MOREIRA, Renata da Costa. **Efeito da espessura de camada do revestimento galvannealed (GA) sobre a resistência à corrosão de um aço ao boro conformado a quente.** 2019. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Eng - Departamento de Engenharia Metalúrgica, Ufmg, Belo Horizonte, 2019.

ROCHA FILHO, Francisco Alberto Marreiros da; SILVA, Marcelo José Gomes da. **ESTUDO COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO ENTRE LIGAS METÁLICAS FERROSAS E NÃO FERROSAS\***. In: ABM WEEK, 71., 2016, Rio de Janeiro. Contribuição técnica. Rio de Janeiro: Issn, 2016. p. 722-730. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58227/1/2016\\_eve\\_famdarochafilho.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58227/1/2016_eve_famdarochafilho.pdf). Acesso em: 08 abr. 2023.

SIGAGNA, Eric de Souza. **AIRCRAFT CORROSION.** 2014. 24 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Aeronáutica, Unitau, Taubaté, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/187/1/TTEM003-14.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2023.

SILVA, Luiz Henrique Souza; ALMEIDA, José Carlos Costa de; MACHADO, Fernando Carlos Scheffer. **Análise dos parâmetros adotados em modelos de determinação da deterioração de estruturas de betão armado.** Europub Journal Of Exact And Engineering Research, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 02-20, 28 abr. 2023. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.54749/ejeerv4n1-001>.