

ANÁLISE DE CORROSÃO NOS MATERIAIS MAIS UTILIZADOS NO MEIO INDUSTRIAL

QUEIROZ, Maria Fernanda¹

PRESTES, Cristine Oliveira²

RESUMO: Este trabalho analisou o comportamento corrosivo do aço carbono, aço inoxidável e liga de alumínio em quatro ambientes simulados: alta umidade, variação de pH, névoa salina e óleo vegetal. As amostras foram preparadas, pesadas e avaliadas quanto a mudanças visuais e perda de massa após a exposição. Os resultados mostraram que o aço carbono apresentou maior susceptibilidade, com corrosão generalizada em praticamente todos os meios. A liga de alumínio demonstrou bom desempenho em umidade e óleo vegetal, porém elevada sensibilidade a meios alcalinos e cloretados. O aço inoxidável destacou-se pela maior resistência global, mantendo estabilidade em quase todos os cenários. Assim, a seleção adequada de materiais depende das condições ambientais de aplicação industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Materiais metálicos, Ambientes agressivos.

ABSTRACT: This study analyzed the corrosive behavior of carbon steel, stainless steel, and aluminum alloy in four simulated environments: high humidity, pH variation, salt spray, and vegetable oil. The samples were prepared, weighed, and evaluated for visual changes and mass loss after exposure. The results showed that carbon steel exhibited greater susceptibility, with generalized corrosion in almost all conditions. The aluminum alloy demonstrated good performance in humidity and vegetable oil, but high sensitivity to alkaline and chloride-rich environments. Stainless steel stood out for its overall higher resistance, maintaining stability in nearly all scenarios. It is concluded that the appropriate selection of materials depends on the environmental conditions of industrial application.

KEYWORDS: Corrosion, Metallic materials, Aggressive environments.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um fenômeno natural que ocorre em materiais metálicos quando estes reagem com elementos presentes no meio ambiente, como oxigênio, água, sais ou substâncias químicas, promovendo sua degradação e perda de propriedades mecânicas. Trata-se de um processo espontâneo e irreversível, que compromete a integridade estrutural de componentes, equipamentos e estruturas metálicas utilizadas nos mais diversos setores industriais (HARSIMRAN; SANTOS; RAKESH, 2021). De acordo com Fontana (2003), a corrosão pode ser compreendida como a deterioração de um material, geralmente metálico, devido a reações químicas ou eletroquímicas com o ambiente, afetando sua capacidade de suportar cargas e resistir a esforços.

Em ambientes considerados agressivos, como regiões litorâneas, áreas

¹ Graduanda de Engenharia mecânica no Centro Universitário Campo Real.
engm-mariaqueiroz@camporeal.edu.br

² Graduada em Engenharia Mecânica. MBA em Engenharia de Manutenção 4.0. Professora no Centro Universitário do Campo Real. prof_cristineprestes@camporeal.edu.br

industriais com emissão de poluentes ácidos, locais com alta umidade relativa ou presença de produtos orgânicos, a corrosão tende a se intensificar, gerando ataques localizados, perda de espessura e até falhas catastróficas. Bertolini (2010) destaca que a corrosão resulta, muitas vezes, na formação de porosidades e em mudanças visuais como o escurecimento do material ou a formação de oxidação, que indicam degradação superficial. Esses efeitos, quando não monitorados e corrigidos por meio de manutenção adequada, podem comprometer a segurança de operações industriais e causar acidentes de grandes proporções.

A ocorrência de falhas por corrosão em peças mecânicas tem sido registrada em diversos setores da indústria, sendo responsável por prejuízos financeiros elevados, paralisações operacionais e, sobretudo, riscos à vida dos trabalhadores. De acordo com a Organização Mundial de Corrosão (International Measures of Prevention, Application and Economics of Corrosion Technologies – IMPACT), o custo global anual da corrosão é estimado em aproximadamente US\$ 2,2 trilhões, o que representa cerca de 3% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial. No contexto brasileiro, estima-se que as perdas causadas por corrosão atinjam o equivalente a 4% do PIB, o que em 2015 representava cerca de R\$236 bilhões (ABRACO, 2016).

Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo experimental voltado à análise do comportamento dos materiais metálicos em diferentes meios de aplicação, de modo a compreender como interagem em cada ambiente e identificar as condições em que sua utilização não é recomendada. Serão utilizados metais amplamente empregados na indústria, como o aço carbono, o aço inoxidável e ligas de alumínio, avaliando-se sua resistência à corrosão em quatro condições distintas: névoa salina, umidade elevada, variações de pH e contato com óleo vegetal. A escolha desses ambientes reflete condições reais de operação encontradas em setores alimentício, químico, marítimo e agrícola.

A preferência do tema justifica-se por sua importância técnica e econômica. Entender os mecanismos de corrosão, assim como os fatores que aceleram ou retardam sua ocorrência, permite tomar decisões mais assertivas na escolha de materiais, revestimentos protetores e estratégias de manutenção preventiva. Conforme enfatizado por Callister (2007), a seleção adequada de materiais deve considerar não apenas as propriedades mecânicas, mas também sua resistência química ao meio em que serão aplicados, visando prolongar sua vida útil e evitar falhas prematuras.

Dessa forma, este trabalho tem como propósito avaliar a resistência à corrosão dos materiais metálicos em diferentes ambientes simulados, buscando identificar quais ligas apresentam maior durabilidade e quais demonstram maior vulnerabilidade frente a condições agressivas. A compreensão desses comportamentos é essencial para subsidiar decisões de projeto, seleção de materiais e estratégias de manutenção em contextos industriais diversos. Como destacam Fontana (2003) e Bertolini (2010), compreender as interações entre o metal e o meio corrosivo é fundamental para otimizar a vida útil dos componentes, reduzir custos e aprimorar a segurança operacional.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa experimental tem caráter qualitativo. Esta pesquisa foi desenvolvida com abordagem experimental e exploratória, utilizando ensaios laboratoriais para simular ambientes agressivos e analisar o comportamento de diferentes materiais metálicos quanto à sua resistência à corrosão. O objetivo é avaliar como diferentes tipos de corrosão afetam componentes mecânicos.

A corrosão metálica varia conforme o ambiente, gerando desafios específicos para cada setor industrial. Em locais com alto teor de cloretos, como regiões marítimas, portos e plataformas *offshore*, os sais aceleram o processo corrosivo, favorecendo o *pitting* e comprometendo tubulações, cascos e estruturas metálicas (GENTIL, 2007). Em ambientes com elevada umidade, como depósitos, fábricas de papel e celulose, indústrias farmacêuticas e armazéns de grãos, forma-se uma película de água sobre o metal, intensificando a oxidação geral e reduzindo a vida útil dos equipamentos (BERTOLINI, 2010).

A variação de pH também representa um cenário comum em ambientes industriais. Resíduos ácidos e alcalinos provenientes de setores como químico, petroquímico, galvanoplastia, têxtil, curtumes, produção de fertilizantes e até mesmo indústrias alimentícias expõem metais a condições severas, nas quais ocorre corrosão uniforme, intergranular ou sob tensão. O contato prolongado com soluções de pH extremamente baixo ou elevado compromete diretamente a integridade dos materiais, demandando estratégias de proteção adequadas (CALLISTER, 2007).

Outro ambiente de relevância industrial é aquele associado à exposição a óleos vegetais combinados à presença de umidade, típico de agroindústrias que processam

e armazenam grãos oleaginosos como soja, milho e girassol. Nesses contextos, resíduos orgânicos em contato com superfícies metálicas sofrem degradação oxidativa, liberando ácidos graxos que intensificam a corrosão. Além disso, segundo o autor Videla (2001) afirma que a presença simultânea de umidade e compostos orgânicos pode favorecer a formação de biofilmes e a ocorrência de corrosão microbiologicamente induzida (MIC).

Esses processos afetam diretamente a durabilidade de silos, esteiras transportadoras e outros equipamentos agrícolas, o que pode aumentar os custos de manutenção e os riscos durante as operações. Por isso, é importante entender como os ambientes simulados em laboratório como: névoa salina, alta umidade, variações de PH e contato com óleo vegetal, representam as condições reais que esses equipamentos enfrentam na prática. Essa compreensão ajuda na escolha correta dos materiais, no desenvolvimento de revestimentos protetores e na definição de boas práticas de manutenção preventiva.

A metodologia adotada envolve a preparação de amostras metálicas, exposição a ambientes controlados com distintos níveis de agressividade, monitoramento de alterações visuais e físico-químicas. O processo experimental foi planejado para proporcionar reprodutibilidade, controle de variáveis e comparabilidade entre materiais.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Inicialmente, foram selecionados três tipos de materiais metálicos amplamente empregados no setor industrial, considerando suas diferentes composições e comportamentos frente à corrosão. O Quadro 1, apresenta esses materiais e suas respectivas descrições.

Quadro 1 - Metais utilizados no experimento

METAIS	DESCRIÇÃO
Aço carbono SAE 1020	Utilizado em estruturas e peças mecânicas devido ao seu baixo custo e boa usinabilidade, porém suscetível à corrosão. (CALLISTER, 2016).
Aço inoxidável AISI 304	Amplamente empregado em ambientes corrosivos devido à sua resistência à oxidação e presença de cromo (Cr), formando uma camada passiva protetora. (FONTANA, 2005).
Liga de alumínio 6061	Conhecida por sua leveza e boa resistência mecânica, mas com susceptibilidade a certos tipos de corrosão localizada (como <i>pitting</i>). (CALLISTER, 2016).

Fonte: Autora (2025).

Os materiais selecionados apresentam composições e características distintas, o que possibilita uma análise comparativa mais abrangente quanto ao comportamento corrosivo de cada um. Essa diversidade permite avaliar como fatores como a presença de elementos de liga e a formação de camadas passivas influenciam na resistência à corrosão em diferentes ambientes simulados.

Para a execução dos ensaios de corrosão, foram utilizados diversos equipamentos, reagentes e instrumentos de medição, visando garantir a padronização e a precisão dos resultados obtidos. O Quadro 2 apresenta a relação completa dos materiais e suas respectivas quantidades empregadas no desenvolvimento do estudo experimental.

Quadro 2 – Materiais e reagentes utilizados no experimento

MATERIAL	QUANTIDADE (n)	FINALIDADE
Lixas (100, 320, 600, 1200, 3000)	4 de cada	Utilizadas para o lixamento e preparação superficial das amostras metálicas.
PHmetro	1	Medição e controle do pH das soluções (ácida e básica).
Balança Analítica	1	Utilizada para a pesagem precisa das amostras antes e após os ensaios.
Câmara Úmida	1	Ambiente controlado utilizado nos ensaios de alta umidade.
Furadeira	1	Utilizada para acoplar o disco com velcro.
Suporte para disco com velcro	1	Acessório acoplado à furadeira, utilizado para fixação das lixas.
Caixa de Plástico Transparente	1	Utilizada para simular o ambiente salino.
Grade de Plástico	1	Apoio para manter as amostras suspensas nas soluções e evitar contato direto com o fundo dos recipientes.
Umidificador de Ar Portátil	1	Responsável por gerar vapor no ambiente de nevoa salina.
Termômetro digital	1	Utilizado para aferir a temperatura do óleo.
Manta Térmica	1,5 M	Utilizada para aquecimento controlado do óleo vegetal a 42°C.
Álcool isopropílico	1 L	Empregado na limpeza e desengraxe das amostras após o lixamento.
Nacl (3,5 %)	2,5 L	Reagente usado na preparação da solução salina.
Ácido sulfúrico (1 mol)	1 L	Utilizado no preparo da solução ácida.
Hidróxido de Sódio (0,1 mol)	1 L	Utilizado no preparo da solução básica.
Água Destilada	2,5 L	Utilizada no preparo das soluções e na diluição dos reagentes.
Óleo Vegetal	1 L	Utilizada na simulação de ambiente agroindustrial.

Fonte: Autora (2025).

A seleção dos materiais e reagentes do Quadro 2, foram essenciais para padronizar os ensaios e representar adequadamente as condições simuladas. Cada

item desempenhou função específica na preparação e análise dos testes, garantindo controle das variáveis. Os equipamentos possibilitaram medições precisas, enquanto os reagentes permitiram reproduzir os ambientes corrosivos. Assim, os recursos utilizados foram decisivos para obter resultados confiáveis e comparáveis entre os materiais avaliados.

2.2 AMBIENTES SIMULADOS

Para avaliar o comportamento dos principais materiais metálicos frente a diferentes agentes corrosivos, as amostras foram expostas a quatro ambientes simulados que representam condições comuns na indústria. As características e finalidades de cada ambiente estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Ambientes simulados e suas respectivas finalidades

AMBIENTE SIMULADO	FINALIDADE
Ambiente úmido controlado	Reproduz condições industriais com alta umidade relativa, típicas de depósitos, galpões e regiões tropicais, as amostras foram mantidas em câmara úmida a cerca de 80% de umidade e temperatura ambiente de (~25 °C) durante 96 horas. Essa condição favorece a formação de filmes de condensação que aceleram o processo de oxidação superficial dos metais (GENTIL, 2011; FONTANA, 2005).
Ambiente com variação de pH (químico-industrial)	Com a finalidade de simular ambientes industriais expostos a substâncias químicas, as amostras foram imersas em duas soluções preparadas em laboratório: uma ácida (pH 0,14) obtida a partir de 125 mL de ácido sulfúrico diluído em 125 mL de água destilada. E outra básica (pH 12,45) composta por 125 mL de hidróxido de sódio diluído em 125 mL de água destilada. Cada imersão teve duração de 24 horas. Esse tipo de ensaio permite observar a resistência dos materiais em meios agressivos com variação significativa do potencial hidrogeniônico (SHREIR <i>et al.</i> , 2010).
Ambiente com névoa salina (cloretos)	Este ensaio teve como finalidade simular condições marítimas e costeiras, onde a presença de sais, especialmente cloretos (NaCl), intensifica a corrosão localizada por <i>pitting</i> . As amostras foram expostas a uma mini estufa experimental de solução salina a 3,5% de NaCl por 48 horas, conforme a norma ASTM B117 (2019). Esse método é amplamente empregado para verificar a resistência de metais e revestimentos frente à ação salina (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).
Ambiente com óleo vegetal (simulação agroindustrial)	Esse teste buscou reproduzir condições de operação típicas de processos agroindustriais, como transporte e armazenamento de grãos oleaginosos. As amostras foram parcialmente submersas em óleo de soja aquecido a 42,5 °C, com adição de 10% de água destilada, por 72 horas. Essa combinação de umidade e compostos orgânicos favorece a ocorrência de corrosão sob depósitos e de

	corrosão microbiana, comuns em equipamentos de processamento e silos (GENTIL, 2011).
--	--

Fonte: Autora (2025).

O Quadro 3 apresenta os ambientes simulados empregados na investigação do comportamento corrosivo dos metais estudados, bem como a finalidade de cada ensaio. As condições descritas foram definidas de modo a representar diferentes cenários de exposição desde atmosferas salinas e úmidas até ambientes com variação de pH e presença de matéria orgânica, possibilitando a análise dos efeitos combinados de agentes químicos e físicos sobre a degradação dos materiais.

2.3 PROCEDIMENTO DE PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras foram padronizadas em dimensões de aproximadamente 6 cm × 2 cm × 0,3 cm. Após a seleção dos materiais, as amostras foram preparadas para os ensaios de corrosão por meio de etapas padronizadas, com o objetivo de garantir a uniformidade das superfícies e eliminar possíveis interferências nos resultados.

O processo envolveu o lixamento mecânico realizado com uma furadeira acoplada a um suporte para disco de velcro, no qual foram fixadas lixas de diferentes granulometrias (100, 320, 600, 1200 e 3000). O lixamento é uma etapa fundamental para o preparo de superfícies metálicas, pois promove o nivelamento, a remoção de impurezas e o acabamento adequado para posterior tratamento, garantindo melhor desempenho e aparência do material (SENEFRESA, 2024; KLINGSPOR, 2024). Durante o procedimento, as peças foram fixadas em uma morsa, o que proporcionou maior estabilidade e segurança durante o lixamento. Após essa etapa, as amostras foram limpas e desengraxadas com álcool isopropílico, assegurando a uniformidade da superfície antes da exposição aos meios corrosivos (MOJE AUTO, 2025).

Depois da etapa de preparação superficial, as amostras metálicas foram submetidas à pesagem inicial, realizada antes da aplicação de qualquer solução ou exposição aos ambientes simulados. Esse procedimento teve como objetivo registrar a massa de referência de cada peça, garantindo a possibilidade de quantificação da variação de massa decorrente dos processos corrosivos. A medição das amostras foi realizada em balança analítica, equipamento de alta precisão utilizado em laboratórios para medições extremamente sensíveis, capaz de detectar mínimas variações de massa quando operado em ambiente controlado (SPLABOR, 2024). Garantindo maior

precisão e confiabilidade nos resultados comparativos obtidos após a realização dos ensaios de corrosão.

O Quadro 4 apresenta os principais materiais e equipamentos empregados durante o preparo das amostras, acompanhados de seus respectivos registros e finalidades.

Quadro 4 - Etapas e equipamentos utilizados no preparo das amostras

MATERIAL	REGISTRO	FINALIDADE
Furadeira acoplada a suporte para disco velcro		Utilizada para o lixamento e padronização das superfícies metálicas.
Álcool Isopropílico		Empregado na limpeza e desengraxe das amostras após o lixamento.
Balança Analítica		Utilizada para determinação precisa da massa inicial e final das amostras.

Fonte: Autora (2025).

O procedimento adotado garantiu condições superficiais homogêneas nas amostras, minimizando interferências nos resultados. A furadeira com suporte para disco velcro e as lixas de diferentes granulometrias asseguraram o nivelamento das superfícies, enquanto o álcool isopropílico removeu contaminantes. A balança analítica permitiu medir com precisão a massa, possibilitando comparar a perda de material após os ensaios. Esse processo segue metodologias amplamente recomendadas na literatura, conforme Callister (2016) e Gentil (2011).

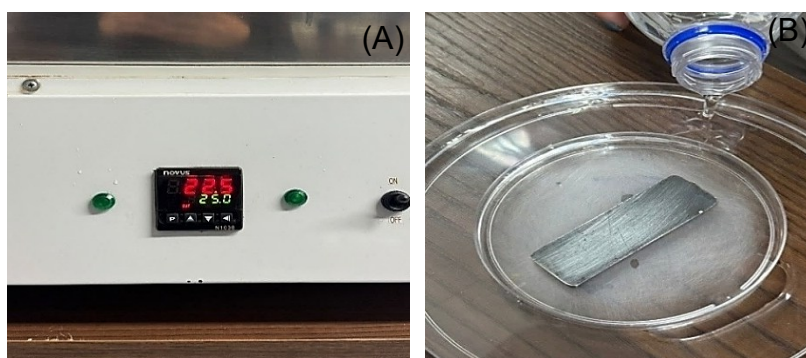
2.4 SIMULAÇÃO AMBIENTE ALTA UMIDADE

Para a simulação do ambiente úmido, foi selecionada uma amostra de cada material metálico e estas foram acondicionadas em câmara úmida, mantida sob condições controladas de aproximadamente 80% de umidade relativa e temperatura de 25 °C, como mostra na Figura 1 (A). Esse procedimento teve como finalidade

reproduzir atmosferas industriais e de armazenamento em regiões de clima tropical, nas quais a elevada umidade favorece a formação de filmes de água sobre as superfícies metálicas, intensificando os processos corrosivos. Considerando que a exposição inicial das amostras na câmara úmida não apresentou resultados significativos em termos de manifestação de corrosão, optou-se por intensificar o ensaio por meio da utilização de um recipiente submetido a banho-maria, como mostra na Figura 1 (B), mantido no interior da própria câmara. Nessa condição, as amostras permaneceram imersas em atmosfera saturada por um período contínuo de 96 horas (quatro dias), de modo a potencializar os efeitos da elevada umidade relativa e favorecer a observação de alterações superficiais decorrentes do processo corrosivo.

As amostras metálicas, previamente preparadas e identificadas, foram posicionadas sobre o suporte interno, garantindo a exposição uniforme de suas superfícies ao vapor gerado. Durante o ensaio, foram realizados registros fotográficos para documentar o posicionamento das amostras e as condições experimentais.

Figura 1 - (A) Câmara úmida (B) Amostras metálicas submetidas a banho maria



Fonte: Autora (2025).

O controle da umidade e da temperatura permitiu a reprodução de um ambiente favorável à ocorrência de corrosão úmida, possibilitando a avaliação comparativa do desempenho dos diferentes materiais frente à exposição prolongada.

2.5 SIMULAÇÃO AMBIENTE VARIAÇÃO DE PH

Com o objetivo de simular condições industriais caracterizadas pela variação de pH e pela presença de resíduos ácidos e alcalinos, foram preparadas duas soluções distintas: uma solução ácida e uma solução básica.

A solução ácida foi elaborada a partir de 125 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) na concentração de 1 M, diluídos em 125 mL de água destilada, resultando em um pH

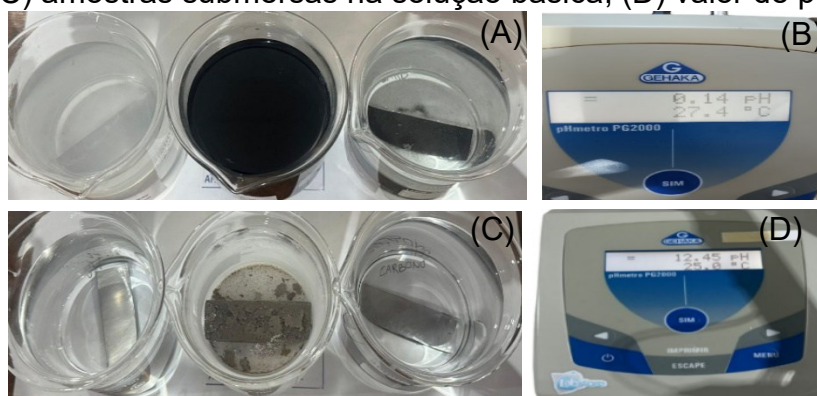
de 0,14. Essa solução teve como finalidade reproduzir ambientes industriais onde há presença de resíduos ácidos capazes de intensificar os processos corrosivos. As amostras metálicas foram totalmente imersas nesse meio por um período de 24 horas, com os recipientes vedados com papel filme para evitar a contaminação por agentes externos e garantir a estabilidade do pH durante o ensaio.

Conforme apresentado na Figura 2 (A), é possível observar as amostras metálicas totalmente imersas após 24 horas na solução de caráter ácido e, na Figura 2 (B) o valor de pH 0,14 correspondente à solução ácida preparada para os ensaios.

De forma análoga, a solução básica foi preparada utilizando 125 mL de hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 0,1 M, diluídos em 125 mL de água destilada, atingindo um pH de 12,45. Essa solução teve o propósito de reproduzir condições alcalinas típicas de alguns processos industriais, nas quais os metais podem sofrer diferentes mecanismos de corrosão. As amostras também foram imersas por 24 horas, com os recipientes vedados com papel filme para evitar variações no pH e contaminação.

A Figura 2 (C) apresenta as amostras metálicas submersas após 24 horas na solução básica, na Figura 2 (D), a leitura do pH 12,45, representando o meio alcalino preparado para o teste.

Figura 2 - (A) amostras submersas na solução ácida; (B) valor de pH 0,14 (C) amostras submersas na solução básica; (D) valor de pH 12,45



Fonte: Autora (2025).

Dessa forma, o procedimento experimental permitiu simular adequadamente ambientes de alta agressividade química, possibilitando a análise comparativa do comportamento dos materiais metálicos frente a meios de natureza ácida e básica.

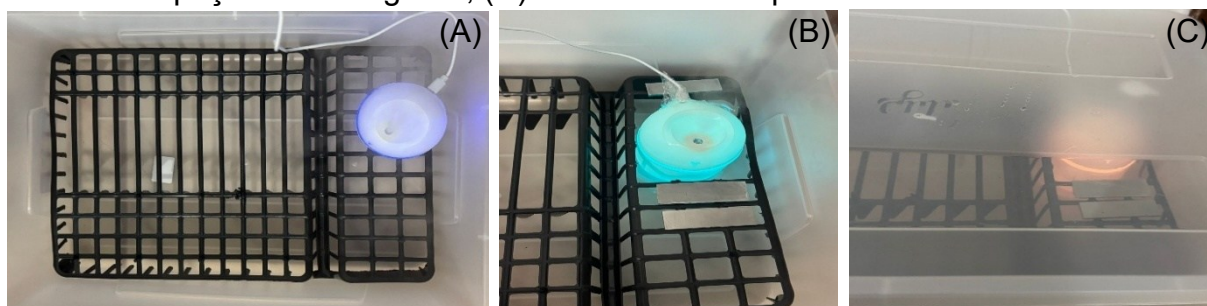
2.6 AMBIENTE NÉVOA SALINA

O ensaio em ambiente de névoa salina teve como finalidade simular condições marítimas e costeiras, nas quais a presença de sais, especialmente cloretos (NaCl), intensifica os processos de corrosão localizada. Esse tipo de ambiente é comumente encontrado em estruturas metálicas expostas à atmosfera marinha, portuária ou industrial, onde a deposição contínua de partículas salinas acelera o desgaste superficial dos metais.

As amostras foram expostas em uma miniestufa experimental, confeccionada a partir de uma caixa plástica transparente, contendo uma grade de apoio em material plástico e um umidificador, utilizado para gerar a névoa salina no interior do sistema. Essa estrutura teve como objetivo reproduzir, de forma controlada, o ambiente de névoa salina.

Conforme ilustrado na Figura 3 (A), observa-se a caixa transparente com a grade de suporte, onde as amostras foram posicionadas de modo que não mantivessem contato direto com o fundo da caixa, garantindo a exposição uniforme à névoa. Já na Figura 3 (B), destaca-se o posicionamento detalhado das peças sobre a grade, mostrando como estão expostas diretamente à névoa salina durante o ensaio, assegurando contato homogêneo com a atmosfera de teste. E (C) é apresentada a minicâmara completamente fechada, com o umidificador em funcionamento e as amostras dispostas internamente, simulando o ambiente úmido e salino. O sistema operou com pulverização intermitente de solução salina a 3,5% de NaCl, durante um período contínuo de 48 horas, em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM B117 (2019).

Figura 3 - (A) caixa transparente com a grade de suporte; (B) posicionamento das peças sobre a grade; (C) minicâmara completamente fechada



Fonte: Autora (2025).

Dessa forma, o sistema experimental desenvolvido mostrou-se eficiente na simulação das condições de névoa salina, permitindo avaliar o desempenho das amostras metálicas frente à exposição prolongada em ambiente controlado.

2.7 AMBIENTE ÓLEO VEGETAL

Para a simulação do ambiente de óleo vegetal, foi selecionada uma amostra de cada material metálico, devidamente identificada. O ensaio teve como objetivo reproduzir condições típicas de operação encontradas em processos agroindustriais, especialmente em sistemas de transporte e armazenamento de grãos oleaginosos.

As amostras foram parcialmente submersas em óleo de soja aquecido aproximadamente 42,5 °C, com adição de 10% de água destilada, permanecendo nessa condição por um período contínuo de 72 horas. Após esse tempo as peças foram deixadas em ambiente natural para o processo de secagem, permanecendo expostas às condições ambientais, incluindo sol, chuva e variações de temperatura. Essa combinação de umidade e compostos orgânicos busca simular o ambiente agressivo que favorece a ocorrência de corrosão sob depósitos e corrosão microbiana, fenômenos comumente observados em tanques, tubulações e silos de armazenamento (GENTIL, 2011).

Para a realização do ensaio, foi montado um sistema experimental utilizando uma caixa térmica como câmara de contenção, revestida internamente com manta térmica posicionada nas paredes internas em três camadas, com o objetivo de garantir melhor isolamento e estabilidade térmica durante o teste. As amostras metálicas foram submersas no óleo vegetal, e o recipiente foi vedado com papel filme, a fim de evitar a contaminação por resíduos externos e minimizar a perda de calor. Um aquecedor foi posicionado externamente, direcionado à caixa térmica, mantendo a temperatura interna do sistema próxima de 42,5°C.

Conforme apresentado na Figura 4 (A) observa-se a caixa térmica utilizada como câmara experimental; (B), as amostras metálicas submersas posicionadas em frente ao aquecedor; e (C), o registro da temperatura interna obtida durante o ensaio.

Figura 4 - (A) caixa térmica revestida com manta térmica; (B) amostras submersas no óleo; (C) temperatura interna 42,5°C



Fonte: Autora (2025).

Essa configuração garantiu o controle das condições experimentais, assegurando homogeneidade térmica e representatividade do ambiente simulado. O ajuste da temperatura e da proporção água/óleo permitiu reproduzir um meio favorável à formação de produtos de corrosão típicos de ambientes orgânicos, possibilitando comparar o comportamento dos materiais diante da ação conjunta de compostos orgânicos e umidade residual.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A etapa de análise e discussão dos resultados tem como objetivo interpretar os dados dos ensaios de corrosão, relacionando o comportamento dos materiais às condições simuladas. As observações visuais e as medições de massa evidenciaram diferenças marcantes no desempenho dos metais expostos à névoa salina, variações de pH, alta umidade e óleo vegetal. A discussão busca compreender os mecanismos predominantes em cada caso, considerando as propriedades químicas e estruturais dos materiais e as particularidades de cada ambiente. Assim, esta seção apresenta a comparação do desempenho dos metais e a interpretação dos fenômenos observados com base na literatura técnica sobre corrosão.

3.1 ENSAIOS REALIZADOS

Após a exposição aos ambientes simulados, as amostras foram avaliadas por dois ensaios: medição da variação de massa, realizada com balança de precisão (0,001 g) para determinar a perda percentual por corrosão, e análise visual e fotográfica, utilizada para identificar manchas de oxidação, descoloração, *pitting* e demais sinais de ataque corrosivo.

3.1.1 Medição de variação de massa

Para a medição de variação de massa, foi utilizado o método gravimétrico de perda de massa, que é uma técnica utilizada para quantificar a corrosão por meio da diferença entre a massa inicial e final de um corpo de prova após sua exposição a um ambiente corrosivo. Trata-se de um procedimento simples e amplamente aplicado em ensaios laboratoriais devido à sua precisão na determinação da taxa de corrosão (MARCHI, 2019).

Nesse método, o corpo de prova é pesado antes da exposição, submetido ao meio corrosivo por tempo controlado e novamente pesado após a remoção dos produtos de corrosão. A perda de massa é obtida pela subtração entre a massa inicial e a massa final, conforme a Equação 1, sendo esse valor utilizado para calcular a taxa de corrosão do material (EMTPIPELINE, 2020).

(1)

$$PM = MI - MF$$

Onde:

PM = Perda de Massa (g);

MI = Massa inicial (g);

MF = Massa final (g).

Então, para os resultados deste trabalho, foi calculada a perda de massa dos metais colocados em ambientes agressivos e convertidos em porcentagem a fim de verificar se esses materiais eram ou não suscetíveis à corrosão e se apresentaram redução de massa após a exposição.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no ensaio de perda de massa das amostras metálicas submetidas ao ambiente de alta umidade relativa.

Tabela 1 - Acompanhamento amostras – (alta umidade)

AMBIENTE – ALTA UMIDADE RELATIVA				
MATERIAIS	Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADO DA PERDA (%)
Aço carbono	1	25.640	25.582	0,226%
Aço inoxidável	2	21.683	21.636	0,217%
Liga de Alumínio	3	8.702	8.670	0,367%

Fonte: Autora (2025).

De acordo com Smith *et al.* (2022), a corrosão do aço carbono aumenta significativamente sob alta umidade, o que explica sua maior perda de massa. O alumínio e o aço inox, que mantêm filmes passivos estáveis em ambientes úmidos (KARA *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2019), apresentaram apenas perdas superficiais, sem evidência de corrosão relevante.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos no ensaio de perda de massa realizado sob variação de pH ácido.

Tabela 2 - Acompanhamento das amostras – (variação de PH ácido)

AMBIENTE – VARIAÇÃO DE PH ÁCIDO				
MATERIAIS	Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADO DA PERDA (%)
Aço carbono	1	25.114	24.366	2,980%
Aço inoxidável	2	21.643	17.585	18,748%
Liga de Alumínio	3	8.659	8.246	4,771%

Fonte: Autora (2025).

No meio ácido, as perdas de massa aumentaram significativamente no aço carbono e no inox pois soluções ácidas aceleram a corrosão, como descrito por Fontana (2003). A liga de alumínio apresentou menor ataque devido à formação de um filme de óxido resistente em pH baixo, conforme indicado por Ramanathan (2008).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de perda de massa realizado sob variação de pH básico.

Tabela 3 - Acompanhamento das amostras – (variação de PH básico)

AMBIENTE – VARIAÇÃO DE PH BÁSICO				
MATERIAIS	Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADO DA PERDA (%)
Aço carbono	1	25.646	25.579	0,262%
Aço inoxidável	2	21.650	21.644	0,028%
Liga de Alumínio	3	8.660	7.266	16,111%

Fonte: Autora (2025).

Em meio básico, a liga de alumínio apresentou maior perda de massa devido à dissolução acelerada de seu óxido protetor, conforme Davis (1999), seguida pelo aço carbono, que também é vulnerável a soluções alcalinas (FONTANA, 2003). O aço inoxidável mostrou melhor desempenho, mantendo sua camada passiva estável e sofrendo apenas leve perda superficial (SEDRICKS, 1996).

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes ao ensaio conduzido em ambiente de névoa salina.

Tabela 4 - Acompanhamento das amostras – (névoa salina)

AMBIENTE – NÉVOA SALINA				
MATERIAIS	Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADO DA PERDA (%)
Aço carbono	1	25.375	25.320	0,217%
Aço inoxidável	2	21.671	21.615	0,258%
Liga de Alumínio	3	8.614	8.565	0,569%

Fonte: Autora (2025).

No ensaio de névoa salina, todos os materiais apresentaram perdas de massa, confirmando que o ambiente cloretado intensifica a corrosão metálica, como descrito por Fontana (2003). Esse efeito ocorre porque os íons Cl^- rompem filmes passivos e aceleram ataques generalizados e localizados, conforme Sedriks (1996).

A Tabela 5 apresenta os resultados do ensaio em ambiente contendo óleo vegetal.

Tabela 5 - Acompanhamento das amostras – (ambiente óleo vegetal)

AMBIENTE – ÓLEO VEGETAL				
MATERIAIS	Nº DA AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	RESULTADO DA PERDA (%)
Aço carbono	1	25.456	25.435	0,083%
Aço inoxidável	2	21.644	21.637	0,032%
Liga de Alumínio	3	8.796	8.741	0,625%

Fonte: Autora (2025).

De acordo com os resultados, as amostras apresentaram variações mínimas de massa, confirmando que o óleo vegetal é um meio de baixa agressividade corrosiva. Esses valores indicam que o contato com o óleo não promoveu corrosão significativa, reforçando o caráter protetivo desse tipo de meio.

3.2 RESULTADO DE ANÁLISE VISUAL E FOTOGRÁFICO

A análise dos resultados ocorreu de forma visual e fotográfica, onde foi possível observar as ocorrências de corrosão ou ausência da mesma, de forma que a análise foi realizada em todas as peças do experimento.

3.2.1 Ambiente alta umidade

Após a retirada das peças da câmara úmida, observaram-se os efeitos da exposição à umidade nos diferentes materiais. Após 96 horas de ensaio, sob 80% de

umidade relativa e 25 °C, os materiais apresentaram comportamentos distintos frente à corrosão: o aço carbono apresentou corrosão generalizada, mais evidente na região central da amostra, enquanto o aço inoxidável e a liga de alumínio mantiveram-se inalterados, sem indícios visíveis de degradação, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Comparação antes e depois ambiente alta umidade

ANTES	DEPOIS	RESULTADOS
Aço Inoxidável		<p>Não foram observadas alterações visíveis, mantendo o aspecto inicial e indicando alta resistência à corrosão nas condições testadas.</p>
		
Liga de Alumínio		<p>Não foram observadas alterações visíveis, mantendo o aspecto inicial e indicando alta resistência à corrosão nas condições testadas.</p>
		
Aço Carbono		<p>Apresentou corrosão generalizada, com desgaste uniforme e alteração de cor, indicando baixa resistência ao ambiente úmido.</p>
		

Fonte: Autora (2025).

Quando as amostras metálicas foram expostas ao ambiente de alta umidade, formou-se uma fina película de água sobre a superfície dos metais, atuando como eletrólito e permitindo a ocorrência das reações eletroquímicas típicas da corrosão. A presença de oxigênio dissolvido nessa película favorece a oxidação do metal perda de elétrons, que, no caso do ferro, resulta na formação de óxidos hidratados conhecidos como oxidação (LI *et al.*, 2023).

O aço carbono, composto basicamente por ferro e pequenas quantidades de carbono, não possui elementos de liga capazes de formar um filme protetor passivo. Assim, quando exposto à umidade, ocorre a oxidação do ferro com facilidade, produzindo uma camada porosa de óxidos que se desprende, expondo continuamente novas áreas metálicas ao ataque corrosivo. Esse processo explica a corrosão

generalizada observada no ensaio. De acordo com SteelPro Group (2023), o aço carbono é altamente suscetível à oxidação e à corrosão quando exposto à umidade, pois não contém teor suficiente de cromo para formar uma camada protetora.

Por outro lado, o aço inoxidável apresentou alta resistência ao ataque corrosivo. Esse comportamento ocorre devido à presença de cromo (geralmente acima de 10,5 %), que reage com o oxigênio formando uma fina camada de óxido de cromo (Cr_2O_3), estável, aderente e autorregenerativa, impedindo o avanço da corrosão (FONTANA, 1986; CALLISTER; RETHWISCH, 2019). De maneira semelhante, a liga de alumínio também apresentou excelente desempenho, pois o alumínio reage rapidamente com o oxigênio atmosférico formando uma camada protetora de óxido de alumínio (Al_2O_3), compacta e impermeável, que bloqueia a continuidade das reações de oxidação (COASTAL METALS, 2023).

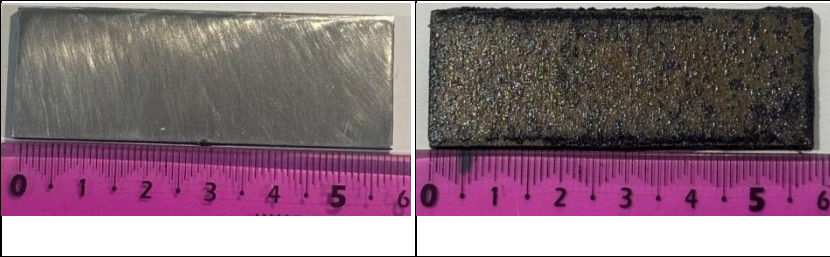
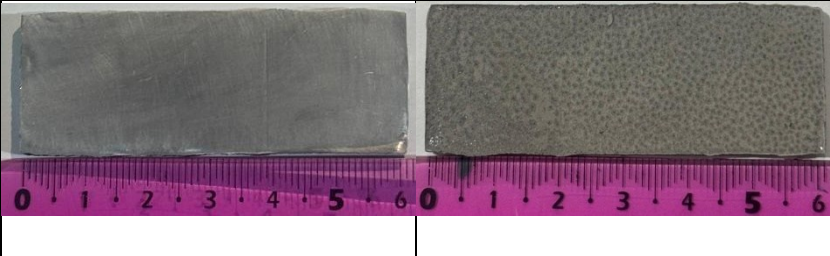
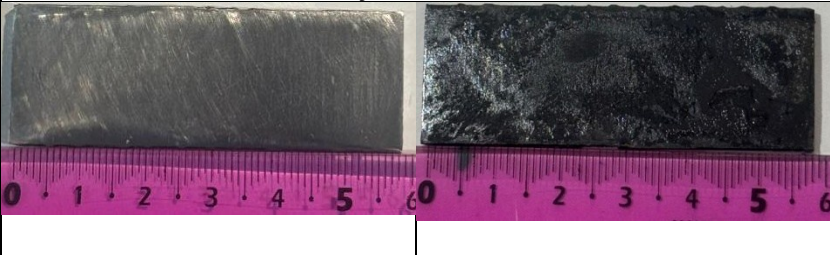
Dessa forma, os resultados demonstram que, em ambientes úmidos, os materiais com camadas passivas protetoras, como o aço inoxidável e a liga de alumínio, apresentam comportamento mais estável e resistente à corrosão. Já o aço carbono mostra-se o mais vulnerável nesse tipo de ambiente, sofrendo degradação acentuada devido à ausência de elementos de liga protetores.

3.2.2 Ambiente variação de PH

Após 24 horas de imersão em solução ácida de pH 0,14, observaram-se os efeitos do meio fortemente corrosivo sobre os materiais. A liga de alumínio mostrou excelente resistência, sem alterações visuais relevantes. O aço carbono apresentou corrosão generalizada, com perda de brilho e formação de produtos de corrosão. Já o aço inoxidável exibiu ataque localizado e mudança de coloração, sugerindo instabilidade parcial da camada passiva no meio ácido. Os resultados estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Comparação antes e depois PH ácido

ANTES	DEPOIS	RESULTADOS
Aço Inoxidável		

	O aço inoxidável apresentou um comportamento diferenciado, com alteração superficial distinta.
Liga de Alumínio	
	O material demonstrou bom comportamento frente ao ensaio, não apresentando sinais de corrosão. Os grumos formados na superfície correspondem à reação da camada protetora.
Aço Carbono	
	O aço carbono demonstrou corrosão generalizada após o ensaio, evidenciando desgaste uniforme em toda a superfície exposta.

Fonte: Autora (2025).

A liga de alumínio apresentou excelente desempenho no meio ácido (pH 0,14), sem alterações visuais significativas, o que sugere que a sua camada passiva de óxido de alumínio (Al_2O_3) manteve-se aderente e atuante mesmo sob as condições agressivas do ensaio. Investigações experimentais indicam que certas ligas (ex. 6061-T6) apresentam menores taxas de corrosão em meios contendo ânions sulfato, por maior estabilidade relativa do filme de óxido frente a esse eletrólito; assim, a camada protetora ou os grumos observados correspondem à manutenção e alteração superficial da película sem ataque penetrante (PMC, 2023; BOHRIUM, 2023).

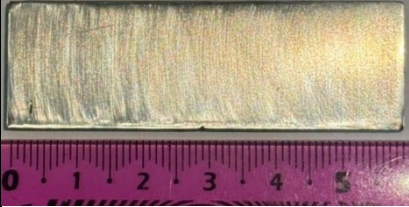



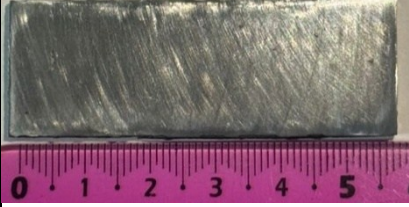
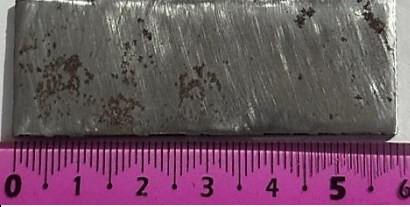
O aço carbono evidenciou corrosão generalizada em toda a superfície, comportamento coerente com a literatura para exposições a ácido sulfúrico. A ausência de uma camada passiva protetora faz com que os íons hidrogênio (H^+) promovam a oxidação direta do ferro, seguido de hidrólise e formação de óxidos/sulfatos que frequentemente não aderem de modo protetor e podem ser dissolvidos pelo meio, resultando em desgaste contínuo da superfície. A agressividade do meio ácido e a presença de água tende a favorecer esse ataque uniforme, razão pela qual o aço carbono apresentou o pior desempenho entre os materiais testados (OVA.IT, 2023).

O aço inoxidável apresentou um comportamento diferenciado, com alteração superficial distinta da simples ausência de ataque visível. A resposta dos aços inoxidáveis ao ácido sulfúrico é altamente dependente da concentração, temperatura, composição da liga (teor de Cr, Ni, Mo) e da presença de impurezas. Em determinadas condições, a película passiva de Cr_2O_3 pode ser parcial ou localmente dissolvida, gerando ataque localizado, formação de filmes de sulfato ou dissolução seletiva de constituintes, o que se traduz em aparência heterogênea após o ensaio. Outro estudo mostra que, em ácido nítrico ou sulfúrico, o filme passivo pode sofrer dissolução seletiva de ferro e níquel, com enriquecimento em Cr(III) e Mo, provocando instabilidade da película protetora e facilitando a corrosão sob filme passivo (ARXIV, 2019). Assim, o comportamento diferente observado pode ter sido causado por uma combinação de fatores: a concentração extremamente alta de ácido (pH 0,14 implica elevada atividade de H^+), possíveis variações de temperatura ou contaminação, e pontos de descontinuidade da película passiva. Esses fatores provocam ataque localizado, formação de filmes de sulfato ou corrosão sob a película passiva, resultando em uma superfície alterada, mas não uniformemente degradada (YUHANCHEMI, 2023; PARR INSTRUMENT, 2011).

Em síntese, os resultados confirmam a forte influência do pH e da composição química do eletrólito sobre a estabilidade das películas passivas: no ensaio ácido, a liga de alumínio manteve a proteção superficial, o aço carbono sofreu ataque uniforme e o aço inoxidável apresentou um tipo de degradação localizada relacionada à severidade do meio e às características da sua passividade.

Em meio básico, foi possível observar os efeitos do meio alcalino sobre os diferentes materiais. A liga de alumínio apresentou corrosão significativa, com desprendimento visível de partículas e formação de pontos de *pitting*. O aço carbono demonstrou corrosão generalizada na superfície, enquanto o aço inoxidável não apresentou sinais aparentes de degradação. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Comparação antes e depois PH básico

ANTES	DEPOIS	RESULTADOS
Aço Inoxidável		<p>Não foram observadas alterações visíveis, mantendo o aspecto inicial e indicando alta resistência à corrosão.</p>
		
Liga de Alumínio		<p>O material apresentou corrosão localizada do tipo <i>pitting</i>, com perda de massa e remoção de material. Após o lixamento, foi possível visualizar os pontos de <i>pitting</i> sob a película superficial.</p>
		
Aço Carbono		<p>O aço carbono demonstrou corrosão geral após o ensaio, evidenciando desgaste uniforme na superfície exposta.</p>
		

Fonte: Autora (2025).

A exposição das amostras por 24 horas em solução alcalina de pH 12,5 evidenciou comportamentos distintos de corrosão dependendo do material analisado. A liga de alumínio apresentou significativa corrosão localizada do tipo *pitting* com desprendimento visível de resíduos e remoção de material, indicando que a película protetora de óxido de alumínio foi atacada pelo meio altamente alcalino. Em soluções de hidróxido de sódio (NaOH), os íons hidróxido (OH^-) promovem a dissolução da camada de óxido e a formação de complexos de alumínio, tornando o material suscetível à corrosão localizada (DEEPA; PADMALATHA, 2014; PARANGUSAN, 2021). Esse tipo de ataque ocorre devido à instabilidade da película protetora em pH elevado, o que favorece a penetração do eletrólito e o desenvolvimento de cavidades. Caso a imersão fosse prolongada, a propagação dos pits poderia aprofundar-se até comprometer a integridade estrutural da amostra (DEEPA; PADMALATHA, 2014).

No aço carbono, observou-se corrosão generalizada da superfície exposta, evidenciando desgaste uniforme e perda de brilho. Esse comportamento é atribuído à formação instável de produtos de corrosão, como hidróxidos e óxidos de ferro que não

formam uma película passiva contínua e aderente (SMART *et al.*, 2013; CAST-IGDTP, 2017). Em ambiente alcalino, o ferro metálico sofre oxidação anódica e, na presença de oxigênio dissolvido, ocorre a formação de óxidos hidratados de coloração escura. Assim, o tipo de corrosão predominante é a corrosão uniforme, típica de metais expostos a soluções alcalinas aeradas, onde o ataque se distribui de maneira homogênea sobre a superfície (SMART *et al.*, 2013).







Por outro lado, o aço inoxidável não apresentou alterações visíveis após o ensaio, mantendo o mesmo aspecto superficial observado antes da imersão. Isso se deve à presença de elementos de liga como o cromo (Cr), responsáveis pela formação de uma película passiva de óxido de cromo (Cr_2O_3), compacta e autorregenerativa, que confere excelente resistência à corrosão em meio alcalino (FREIRE *et al.*, 2010; SEETHAMMARAJU; RANGARAJAN, 2019). Essa camada impede o contato direto do eletrólito com o metal base, bloqueando as reações de oxidação. Estudos mostram que, em soluções de pH superior a 10, o aço inoxidável mantém comportamento passivo e apresenta taxas de corrosão extremamente baixas (FREIRE *et al.*, 2010).

Dessa forma, os resultados apresentados no Quadro 7, *pitting* severo na liga de alumínio, corrosão generalizada no aço carbono e estabilidade no aço inoxidável, encontram explicação nos mecanismos eletroquímicos e nas propriedades microestruturais de cada material frente ao ataque químico em solução de pH elevado.

3.2.3 Ambiente de névoa salina

Após 48 horas de exposição à solução salina 3,5% de NaCl, em minicâmara simulando névoa salina, observaram-se os efeitos do meio cloretado sobre os materiais. A liga de alumínio apresentou corrosão localizada do tipo *pitting*, com pequenas cavidades na superfície. O aço inoxidável também mostrou *pitting*, especialmente nas bordas, onde a película passiva se enfraqueceu. Já o aço carbono exibiu corrosão generalizada, com perda de brilho e formação de produtos de corrosão. Os resultados estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Comparação antes e depois névoa salina

ANTES	DEPOIS	RESULTADOS
Aço Inoxidável		O material apresentou corrosão localizada do tipo <i>pitting</i> concentrado nas bordas.
		
Liga de Alumínio		O material apresentou corrosão localizada do tipo <i>pitting</i> , com a formação de perfurações na superfície metálica.
		
Aço Carbono		O aço carbono demonstrou corrosão generalizada após o ensaio, evidenciando desgaste uniforme em toda a superfície exposta.
		

Fonte: Autora (2025).

A liga de alumínio apresentou corrosão localizada do tipo *pitting*, caracterizada pela formação de pequenas perfurações na superfície metálica. Esse fenômeno ocorre devido à presença dos íons cloreto (Cl^-), que possuem alta capacidade de penetrar e desestabilizar a camada passiva de óxido de alumínio (Al_2O_3), normalmente responsável pela proteção natural do metal. Quando essa camada é rompida localmente, forma-se uma microcélula galvânica na região desprotegida, levando à dissolução anódica do alumínio e ao crescimento dos pits em profundidade (WANG *et al.*, 2022). Esse tipo de corrosão é autossustentável, uma vez que a acidificação local dentro das cavidades acelera a dissolução do metal e impede a repassivação da superfície (GENTIL, 2011). Caso a exposição fosse prolongada, os pits tenderiam a coalescer, podendo causar a perfuração completa da amostra, comprometendo a integridade do material (ZHANG *et al.*, 2023).

O aço inoxidável, por sua vez, apresentou *pitting* concentrado nas bordas das amostras, onde a película passiva de óxido de cromo tende a ser menos estável. Esse comportamento é característico da corrosão por cloretos em aços inoxidáveis, pois os íons interagem com a camada protetora, reduzindo sua resistência e promovendo o

rompimento localizado da passividade (FONTANA, 1986). As bordas e regiões de desbaste são particularmente susceptíveis por apresentarem descontinuidades microestruturais e maior acúmulo de umidade, favorecendo a nucleação de pits (CALLISTER; RETHWISCH, 2020). Assim, a ocorrência do ataque localizado indica que, embora o aço inoxidável possua boa resistência à corrosão geral, em ambientes salinos ele pode sofrer degradação pontual quando exposto por longos períodos ou em áreas de alta tensão superficial (WANG *et al.*, 2019).

O aço carbono apresentou o comportamento mais crítico, com corrosão generalizada em toda a superfície exposta. Esse tipo de ataque ocorre devido à ausência de uma camada passiva protetora estável. Em contato com o ambiente salino, os íons cloreto e o oxigênio dissolvido promovem a oxidação direta do ferro, resultando na formação de óxidos e hidróxidos de ferro, que se acumulam na superfície na forma de oxidação (POPOV, 2015). Esse processo é contínuo e autocatalítico, pois os produtos de corrosão são porosos e permitem a penetração de oxigênio e umidade, mantendo o processo ativo (QIN *et al.*, 2024). Assim, a corrosão observada no aço carbono é classificada como corrosão generalizada uniforme, típica de metais desprovidos de passivação quando submetidos a ambientes ricos em cloretos (GENTIL, 2011).






Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam que a liga de alumínio e o aço inoxidável apresentaram resistência relativamente superior à do aço carbono no ambiente salino, ainda que ambos tenham sofrido *pitting*. O aço carbono, por sua vez, apresentou o pior desempenho, com corrosão intensa e perda significativa do brilho superficial. Esses comportamentos confirmam a maior estabilidade das ligas passivadas em relação aos metais comuns em atmosferas salinas (CALLISTER; RETHWISCH, 2020).

3.2.4 Ambiente óleo vegetal

Após 72 horas de exposição das amostras em óleo de soja aquecido, observaram-se os efeitos do meio oleoso sobre os materiais. A liga de alumínio e o aço inoxidável não apresentaram alterações visíveis, indicando boa estabilidade frente ao meio orgânico e à temperatura aplicada. O aço carbono, por sua vez, iniciou o processo de oxidação, com leve escurecimento e formação inicial de produtos de

corrosão devido à interação entre o ferro e compostos oxigenados do óleo vegetal. Os resultados estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Comparação antes e depois óleo vegetal

ANTES	DEPOIS	RESULTADOS
Aço Inoxidável		<p>Não foram observadas alterações visíveis, mantendo o aspecto inicial e indicando alta resistência à corrosão nas condições testadas.</p>
		
Liga de Alumínio		<p>Não foram observadas alterações visíveis, mantendo o aspecto inicial e indicando alta resistência à corrosão nas condições testadas.</p>
		
Aço Carbono		<p>O aço carbono iniciou o processo de oxidação em contato com o óleo vegetal, devido à troca iônica entre o ferro e os compostos oxigenados do meio.</p>
		

Fonte: Autora (2025).

Com essa exposição ao óleo vegetal, foi possível perceber o comportamento protetor promovido pelo meio oleoso sobre as diferentes ligas metálicas. O óleo vegetal aderiu fortemente à superfície das amostras, formando uma película hidrofóbica contínua que atuou como barreira física entre o metal e os agentes corrosivos, dificultando a penetração de oxigênio, íons H^+ e moléculas de água até a interface metal-meio. Essa camada aderente reduziu significativamente a taxa de difusão de espécies oxidantes, impedindo o estabelecimento de células eletroquímicas de corrosão (JAYADAS; NAIR, 2007).

Nos metais passivados, como o aço inoxidável e a liga de alumínio, essa película de óleo reforçou a proteção já existente das respectivas camadas de óxido de cromo do inox e óxido de alumínio resultando em completa ausência de alterações visuais nas superfícies. Esse comportamento indica sinergia entre a passividade

natural dos metais e a barreira orgânica formada pelo óleo vegetal, que limitou o acesso de umidade e oxigênio dissolvido ao substrato metálico (BRUUN *et al.*, 2021).

Por outro lado, o aço carbono apresentou leve início do processo de oxidação, evidenciado por pequenas manchas superficiais. Isso se deve ao fato de que, diferentemente dos metais passivados, o carbono não possui uma camada protetora estável e depende unicamente da integridade do filme oleoso. Pequenas descontinuidades ou microdefeitos na cobertura podem permitir o contato entre o ferro metálico e os oxidantes presentes, iniciando a troca iônica entre íons ferrosos e o oxigênio presente na água, responsável pelo início da formação de óxidos de ferro (BARRETO *et al.*, 2021).

A capacidade do óleo vegetal em aderir fortemente ao metal e criar um filme protetor está relacionada à sua composição química rica em ácidos graxos e triglicerídeos, que se adsorvem na superfície metálica e formam uma barreira compacta e hidrofóbica. Estudos demonstram que essa adsorção ocorre por interação entre grupos carboxílicos e a superfície metálica, resultando em um filme de natureza orgânica estável, que dificulta a passagem de espécies corrosivas (ANDARI *et al.*, 2022). Esse comportamento explica a notável estabilidade observada mesmo após a exposição das amostras ao ambiente natural com variação de sol e chuva evidenciando o potencial do óleo vegetal como meio inibidor de corrosão.

Assim, conclui-se que o óleo de soja atuou como um eficiente agente protetor contra a corrosão nos materiais analisados, promovendo a formação de uma camada física que limitou a difusão de oxigênio e umidade até a superfície metálica. A liga de alumínio e o aço inoxidável mantiveram-se inalterados, enquanto o aço carbono demonstrou apenas o início do processo de oxidação, confirmando a menor resistência desse material em ambientes úmidos, mesmo sob proteção parcial do filme oleoso.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou analisar o comportamento de diferentes materiais metálicos submetidos a ambientes simulados de elevada agressividade, permitindo compreender como a corrosão se manifesta de acordo com as condições de exposição.

Os resultados evidenciaram que fatores como umidade, presença de cloretos, variações de pH e contato com compostos orgânicos influenciam diretamente na

degradação das peças, confirmando a relevância de estudos que correlacionam ambientes industriais e mecanismos de corrosão. O aço carbono, embora seja amplamente utilizado pela sua disponibilidade e baixo custo, apresentou o pior desempenho entre os materiais avaliados, sofrendo corrosão acentuada em praticamente todos os cenários, especialmente em ambientes úmidos, salinos e com variação de pH. Esse comportamento reforça sua vulnerabilidade em contextos onde há presença de eletrólitos ou agentes químicos agressivos.

A liga de alumínio mostrou comportamento intermediário, com boa resistência em ambientes úmidos e pouco agressivos, porém com significativa perda de desempenho em meios alcalinos e em contato com cloretos, o que limita seu uso em regiões marítimas ou industriais próximas ao mar. O aço inoxidável destacou-se pelo desempenho superior entre todos os materiais testados, mantendo estabilidade superficial na maioria dos ensaios e demonstrando maior capacidade de formar e preservar sua película passiva.

Assim, os resultados demonstram que a seleção adequada do material deve considerar rigorosamente o ambiente de operação. Para aplicações expostas à maresia, alta umidade ou agentes químicos moderados, o aço inoxidável é a opção mais segura. Em situações menos agressivas, como contato com óleo vegetal ou atmosferas internas controladas, a liga de alumínio pode ser empregada com bom desempenho. Por outro lado, o uso do aço carbono deve ser restrito ou acompanhado de proteção adicional quando houver risco de exposição a umidade elevada, cloretos ou variações de pH.

Para facilitar a escolha do material mais adequado, o Quadro 10 apresenta as aplicações recomendadas para cada liga analisada. Assim, é possível visualizar de forma objetiva quais materiais oferecem maior resistência conforme o nível de agressividade do meio.

Quadro 10 – Aplicações Recomendadas

APLICAÇÕES RECOMENDADAS	
AMBIENTES AGRESSIVOS	AÇO INOXIDÁVEL
AMBIENTES MODERADOS	LIGA DE ALUMÍNIO
APENAS COM PROTEÇÃO ADICIONAL	AÇO CARBONO

Fonte: Autora (2025).

Dessa forma, a pesquisa reforça a importância da seleção criteriosa de materiais em projetos industriais, bem como da aplicação de estratégias de proteção, inspeção periódica e manutenção preventiva, capazes de prolongar a vida útil dos componentes, reduzir custos operacionais e aumentar a segurança das operações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão. **Custos da corrosão no Brasil**. Disponível em: <https://www.abraco.org.br>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ANDARI, F. *et al.* **High temperature corrosion in various grades of vegetable oils**. *Corrosion Science*, v. 204, p. 110355, 2022.

ARXIV. **Passive film dissolution and selective leaching in acids — electrochemical study**. arXiv preprint, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1906.05544>. Acesso em: 13 nov. 2025.

BARRETO, L. S. *et al.* **Application of a Mix of Vegetables Residues as Inhibitor for Carbon Steel**. *Materials Research*, v. 24, 2021.

BERTOLINI, L. **Corrosão e proteção de materiais metálicos**. São Paulo: Manole, 2010.

BOHRIUM. **Investigation on corrosion behaviour of aluminium 6061-T6 alloy in acidic, alkaline and salt medium**. Bohrium, 2023. Disponível em: <https://www.bohrium.com/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

BRUUN, N. *et al.* **Metal Rod Surfaces after Exposure to Used Cooking Oils**. *Sustainability*, v. 14, n. 1, 2021.

CALLISTER, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CAST-IGDTP. **Rates of steel corrosion and carbon-14 release from irradiated steels – state of the art review**. D2.1. 2017. Disponível em: <https://igdtp.eu/wp-content/uploads/2017/10/CAST-2015-02-D2.1-StateOfArtReview-IrradiatedSteelsC14.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.

COASTAL METALS. **The science behind corrosion resistance: why some metals last longer than others**. 2023. Disponível em: <https://coastalmetals.com/the-science-behind-corrosion-resistance-why-some-metals-last-longer-than-others/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

DEEPA, P.; PADMALATHA, R. **Corrosion behaviour of 6063 aluminium alloy in acidic and in alkaline media**. Arabian Journal of Chemistry, v. 6, n. 4, p. 415–423, 2013.

ELSENER, B.; ROSSI, P. **Passivation of steel and stainless steel in alkaline media**. Università degli Studi di Cagliari, 2010. Disponível em: https://iris.unica.it/retrieve/handle/11584/225055/253757/Elsener_Rossi_Passivation.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.

EMTPIPELINE. **How to measure the corrosion rate**. 2020. Disponível em: <https://pt.emtpipeline.com/news/how-to-measure-the-corrosion-rate>. Acesso em: 11 nov. 2025.

FONTANA, M. G. **Corrosão: fundamentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

FONTANA, M. G. **Corrosão: fundamentos e prática**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

FONTANA, M. G. **Corrosão: engenharia e princípios**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

FONTANA, M. G. **Corrosion Engineering**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1986.

FREIRE, L. *et al.* **The passive behaviour of AISI 316 in alkaline media and thin surface films**. Corrosion Science, v. 52, n. 2, p. 752–761, 2010.

GALVANIZING.ORG.UK. **Corrosion rates and calculation methods**. 2023. Disponível em: <https://galvanizing.org.uk/corrosion/rates/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. LTC, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HARSIMRAN, S.; SANTOSH, K.; RAKESH, K. **Overview of corrosion and its control: a critical review**. Proceedings on Engineering Sciences, v. 3, n. 1, p. 13–24, 2021.

JAYADAS, N. H.; NAIR, K. P. **Elucidation of the Corrosion Mechanism of Vegetable-Oil-Based Lubricants**. Journal of Tribology, v. 129, n. 2, p. 419–446, 2007.

KLINGSPOR. **Lixamento manual**. Disponível em: <https://www.klingspor.com.br/informacoes-sobre-lixamento/lixamento-manual>. Acesso em: 12 nov. 2025.

LI, W. *et al.* **Numerical simulation of carbon steel atmospheric corrosion under varying electrolyte-film thickness and corrosion product porosity**. npj Materials Degradation, v. 7, art. 3, 2023.

MARCHI, H. R. **Ensaio gravimétrico de perda de massa e avaliação da corrosão**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em:

<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/15800/1/HRMarchi.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.

MDPI. **Corrosion behaviour of metals in sulfuric acid solutions**. *Materials & Corrosion*, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MOJE AUTO. **Álcool isopropílico – o que é e para que serve?** Disponível em: <https://www.moje-auto.pl/pt/blog/consulta/o-que-%C3%A9-%C3%A1lcool-isoprop%C3%ADlico/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

OVA.IT. **Is sulfuric acid compatible with carbon steel?** OVA Industrial Technology, 2023. Disponível em: <https://ova.it.com/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PARANGUSAN, H. **A review of passivity breakdown on metal surfaces**. *Materials Today: Proceedings*, v. 45, p. 4044–4052, 2021.

PARR INSTRUMENT COMPANY. **Stainless steels corrosion information**. 2011. Disponível em: <https://www.parrinst.com/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PMC. **Corrosion reactions of aluminium in acidic media**. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11477749/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

POPOV, B. N. **Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems**. Amsterdam: Elsevier, 2015.

QIN, J. *et al.* **Corrosion behavior and cellular automata simulation of carbon steel in salt-spray environment**. *Materials and Corrosion*, v. 75, n. 5, p. 518–529, 2024.

SEETHAMMARAJU, S.; RANGARAJAN, M. **Corrosion of stainless steels in acidic, neutral and alkaline saline media: electrochemical and microscopic analysis**. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 577, p. 012188, 2019.

SENEFRESA. **A importância do lixamento de peças metálicas**. Disponível em: <https://www.senefresa.com.br/lixamento-pecas>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SMART, N. R. *et al.* **The anaerobic corrosion of carbon steel in alkaline media – Phase 2 results**. *EDP Sciences*, 2013. Disponível em: <https://researchportal.sckcen.be/en/publications/the-anaerobic-corrosion-of-carbon-steel-in-alkaline-media-phase-2-2>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SPLABOR. **O que é balança analítica**. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/balancas/o-que-e-balanca-analitica/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

STEELPRO GROUP. **Does carbon steel rust? 2023**. Disponível em: <https://steelprogroup.com/knowledge/carbon-steel-rust/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

VIDELA, H. A. **Manual de corrosão microbiologicamente influenciada**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

WANG, C. *et al.* **Study on the *pitting* corrosion behavior of aluminum alloys in salt spray tests.** Journal of Materials Research and Technology, v. 19, p. 2314–2325, 2022.

WANG, J. *et al.* **Chloride-induced alterations of the passive film on stainless steels in saline environments.** Electrochimica Acta, v. 299, p. 861–870, 2019.

YUHANCHEMI. **Compatibility of stainless steels with sulfuric acid** — review. 2023. Disponível em: <https://www.yuhanchemi.com/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

ZHANG, Y. *et al.* **Mechanisms of chloride-induced *pitting* corrosion of aluminum and its alloys.** Corrosion Science, v. 215, p. 111032, 2023.