

Article

Avaliação de Sementes de Goiaba Como Inibidor Natural em Meio Corrosivo no Aço AISI/SAE 1020

Talwani Nogueira Mattos¹, Fabrício Bagli Siqueira², Francisco de Assis Léo Machado³, Aldo Shimoya⁴, Italo de Oliveira Matias⁵, Wosney Ramos de Souza⁶, Getulio da Silva Abreu⁷

¹ Graduado em Engenharia Mecânica. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0009-0009-3444-4105. E-mail: talwani@outlook.com.br

² Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0000-0002-8742-3115. E-mail: quimicabagli@gmail.com

³ Doutor em Ciências Naturais. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0000-0001-5845-0993. E-mail: franciscoleomachado@gmail.com

⁴ Doutor em Genética e Melhoramento. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0000-0003-1098-9580. E-mail: aldoshimoya@yahoo.com.br

⁵ Doutor em Engenharia Civil. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0000-0001-6683-5287. E-mail: itombrpb@gmail.com

⁶ Mestre em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional. Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0009-0006-2366-4872. E-mail: wrd.souza@gmail.com

⁷ Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Candido Mendes. ORCID: 0009-0002-9855-090X. E-mail: getulioabreu6@gmail.com

RESUMO

A corrosão é um desafio natural e inevitável que provoca a deterioração de inúmeros materiais. O aço carbono é um material amplamente utilizado na indústria que requer excelentes propriedades mecânicas, bem como elevada resistência à corrosão. O objetivo deste trabalho foi estudar a ação inibidora de sementes de goiaba na corrosão do aço carbono AISI/SAE 1020. Para analisar a taxa de corrosão e avaliar a eficiência do inibidor, foram realizados ensaios de perda de massa em amostras retangulares de aço AISI 1020 com e sem a presença do inibidor para tecer comparações. Para tal, as amostras ficaram expostas durante 21 dias nos seguintes meios corrosivos: H₂O, solução de cloreto de sódio (NaCl) 1 mol L⁻¹ e ácido clorídrico (HCl) 1 mol L⁻¹. Os resultados mostraram que o inibidor utilizado foi efetivo, pois promoveu diminuição da perda de massa, bem como redução da taxa de corrosão em relação às amostras ensaiadas sem a presença dele. Em relação à eficiência de inibição, o inibidor de corrosão foi mais efetivo em meio ácido, com eficiência de 59,11% comparado com o meio neutro, tomando como parâmetros os resultados obtidos nos ensaios gravimétricos.

Palavras-chave: corrosão, taxa de corrosão, eficiência de inibição, aço carbono 1020, perda de massa.

ABSTRACT

Corrosion is a natural and inevitable challenge that causes many materials to deteriorate. Industry widely uses carbon steel, a material that demands excellent mechanical properties and high corrosion resistance. This study investigated the inhibitory action of guava seeds on the corrosion of AISI/SAE 1020 carbon steel. In order to analyze the corrosion rate and evaluate the efficiency of the inhibitor, mass loss tests were carried out on rectangular samples of AISI 1020 steel with and without the inhibitor to make comparisons. To do so, the samples were exposed for 21 days to the following corrosive environments: H₂O, sodium chloride solution (NaCl) 1 mol L⁻¹, and hydrochloric acid (HCl) 1 mol L⁻¹. The results showed that the inhibitor used was effective, as it led to a reduction in mass loss, as well as a reduction in the corrosion rate compared to the samples tested without it. As regards inhibition



Submissão: 21/02/2025



Aceite: 08/04/2025



Publicação: 05/06/2025



efficiency, the corrosion inhibitor was more effective in acidic environment, with an efficiency of 59.11% compared to neutral environment, considering the results obtained in the gravimetric tests as parameters.

Keywords: corrosion, corrosion rate, inhibition efficiency, 1020 carbon steel, mass loss.

Introdução

Em maior ou menor grau, a maioria dos materiais apresenta algum tipo de interação com um grande número de ambientes diferentes. Com frequência, tais interações comprometem a utilidade de um material como resultado da deterioração de suas propriedades mecânicas (por exemplo, ductilidade e resistência), de outras propriedades físicas ou de sua aparência (Callister & Rethwisch, 2019).

Devido aos prejuízos gerados pela corrosão nas mais variadas atividades, a busca por métodos de proteção tornou-se cada vez maior. Existem vários métodos para combater as ameaças de corrosão, como proteção catódica, proteção anódica, revestimento, seleção de materiais, uso de inibidores de corrosão, dentre outros. Dentre as diferentes formas de se controlar os processos corrosivos em metais com a finalidade de elevar o tempo de vida útil dos materiais metálicos, o uso de inibidores são os métodos mais comuns, por serem eficientes e de fácil execução. Os inibidores são compostos químicos orgânicos ou inorgânicos que são inseridos normalmente em pequenas quantidades, no meio corrosivo, de forma a proteger os materiais metálicos de processos de dissolução e agressão. Essas substâncias, se adicionadas em concentrações adequadas, podem retardar ou inibir a corrosão, reduzindo por consequência as perdas econômicas proporcionadas por esses processos corrosivos (Gentil, 2022; Chauhan, et al., 2022).

Infelizmente, muitos dos compostos utilizados como inibidores de corrosão são produtos químicos sintéticos não biodegradáveis, que embora garantam alta eficiência de inibição, podem ser muito caros e perigosos para os seres vivos e o meio ambiente devido ao seu elevado nível de toxidez. Esses efeitos, juntamente com a preocupação de gerar processos não agressivos ao ecossistema, têm aumentado a busca por produtos economicamente e ecologicamente viáveis (Quadros et al., 2020).

Diante disso, existe um crescente interesse no uso de extratos de plantas e material biodegradável como inibidores naturais de corrosão, pois esses produtos são fontes inesgotáveis e de fácil acesso, além de possuir um baixo custo de obtenção, ser biodegradáveis e especialmente por não serem tóxicos. Pesquisas realizadas nos últimos anos relatam que muitos vegetais apresentam em sua constituição compostos com ação antioxidante, principalmente polifenóis, que garantem um efeito inibidor, comprovando a eficiência desses produtos naturais (Rocha & Gomes, 2017; Silva et al., 2025).

Esse trabalho tem como objetivo estudar o efeito inibidor do pó de sementes de goiaba na corrosão do aço carbono AISI/SAE 1020 imerso em meio de H_2O , $NaCl$ e HCl 1 mol L^{-1} , a temperatura ambiente.

Revisão Bibliográfica

Por definição, aço é uma liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação (Chiaverini, 2012). Segundo Pfeil & Pfeil (2021) o aço é uma liga de ferro e carbono, com outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre, e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material, denominados elementos de liga. Em função da presença, na composição química de elementos de liga e do teor de elementos residuais, os aços são classificados em aços-carbono e em aços-liga.

A Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE - Society of Automotive Engineers), o Instituto Americano do Ferro e do Aço (AISI - American Iron and Steel Institute) e a Sociedade Americana para Ensaios e Materiais (ASTM - American Society for Testing and Materials), são responsáveis pela classificação e pela



especificação dos aços, assim como de outras ligas. A especificação da AISI/SAE para esses aços consiste em um número com quatro dígitos, os dois primeiros dígitos indicam o tipo da liga e os dois últimos dígitos dão a concentração de carbono (Callister & Rethwisch, 2019).

No Brasil, a descrição dos aços segundo a sua composição química é feita conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000), de acordo com os critérios adotados pela AISI e SAE. Assim, os dois primeiros algarismos designam a classe do aço, e os dois últimos designam a média do teor de carbono, em porcentagem.

Os aços-carbono são designados por quatro algarismos. Os dois primeiros indicam que se trata de aço-carbono, designados pelo número 10, e os dois últimos indicam a quantidade de carbono, em porcentagem. Dessa forma, um aço 1020 é um aço-carbono com 0,2%C, sendo que a norma admite uma variação de 0,05%C como tolerância, ou seja, para o aço 1020 entre 0,18% e 0,23%C. O aço AISI/SAE 1020 é amplamente utilizado em aplicações que exigem boas propriedades de usinagem e soldabilidade. No entanto, essa mesma composição que confere ao aço sua maleabilidade e facilidade de processamento também o torna vulnerável à corrosão. Sem a presença de elementos de liga como cromo ou níquel, que proporcionam resistência adicional à corrosão, o aço 1020 tende a corroer mais rapidamente quando exposto aos ambientes agressivos, como atmosferas úmidas ou soluções salinas (Chiaverini, 2012; Kumar & Singh, 2024).

A definição de corrosão é expressa de maneiras distintas por diversos autores, de acordo com Gentil (2022), num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, associada ou não a esforços mecânicos. De acordo com Felipe et al. (2013), a corrosão é um processo natural que pode ser facilmente encontrado em diferentes tipos de superfícies, e representa uma das principais causas de perdas econômicas no setor industrial.

A corrosão é, algumas vezes, identificada como o processo inverso da metalurgia extrativa. Enquanto esta cuida da transformação do minério em ligas prontas para o uso em engenharia, a corrosão provoca a destruição dos metais e ligas metálicas transformando-as em óxidos ou hidróxidos (Kobzar & Fatyeyeva, 2021).

Sabe-se que há dois tipos de corrosão, a corrosão química (corrosão seca) e a corrosão eletroquímica (corrosão aquosa) (Ramanathan, 1997).

Na corrosão eletroquímica, a forma mais comum de ataque químico a metais, ocorrem reações químicas que envolvem transferência de carga ou elétrons através de uma interface ou eletrólito, que são os casos de corrosão observados em materiais metálicos quando em presença de eletrólitos, podendo o eletrólito estar solubilizado em água ou fundido. Os casos mais comuns são: corrosão em água ou em soluções aquosas; corrosão atmosférica; corrosão no solo; corrosão em sais fundidos (Askeland & Wright, 2016).

Na corrosão química ocorrem reações químicas diretas entre o material metálico ou não metálico, e o meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica. Os casos mais comuns são: corrosão de material metálico, em temperaturas elevadas, por gases ou vapores e em ausência de umidade, chamada de corrosão seca; corrosão em solventes orgânicos isentos de água; corrosão de materiais não metálicos (Gentil, 2022).

A corrosão ataca metais e ligas existentes em tubulações de oleodutos e gasodutos, em cabos de comunicação de redes elétricas, em píeres de atracação de embarcações, em tanques de armazenagem de combustíveis, em meios de transporte, construções, aparelhos eletrônicos, entre outros (Tolentino, 2015).

Em cada país, os especialistas avaliam as perdas econômicas totais (diretas e indiretas) causadas pela corrosão, que correspondem acerca de 1 a 5 % do PIB (Matlakhov & Matlakhova, 2021).

No Brasil, estima-se que o custo total com a corrosão está entre 3,5% e 4,0% do PIB, com a possibilidade de economia de 20%, caso se conseguisse combater a corrosão mediante o uso de materiais mais resistentes e



a adoção de técnicas adequadas, desde a fase de projeto até a manutenção de estruturas e equipamentos (Gentil, 2022).

A corrosão pode comprometer a segurança dos equipamentos operacionais, causando falhas (com consequências catastróficas), por exemplo, vasos de pressão, caldeiras, recipientes metálicos para produtos químicos tóxicos, pás e rotores de turbinas, pontes, componentes de aviões e mecanismos de direção automotivos (Revie & Uhlig, 2008).

A maioria dos metais e ligas está sujeita à oxidação ou à corrosão em maior ou em menor grau em uma ampla variedade de ambientes (Callister & Rethwisch, 2018). Segundo Santos (2015), os meios de corrosão podem ser inúmeros, mas a incidência da corrosão em meio aquoso é maior.

A corrosão pode ocorrer sob diferentes formas, dependendo do metal, do meio e das condições de corrosão. Todas as formas de corrosão que se encontram na prática podem ser classificadas de acordo com o mecanismo de corrosão, a morfologia de corrosão, a natureza do meio corrosivo e o estado de tensão do metal (Figura 1) (Matlakhov & Matlakhova, 2021).

A figura 1 apresenta um fluxograma detalhado que classifica os diferentes tipos de corrosão com base em três critérios principais: morfologia, meio e tensões. Essa organização permite uma melhor compreensão dos mecanismos envolvidos e facilita a identificação das formas específicas de corrosão que podem ocorrer em diferentes ambientes e condições operacionais.

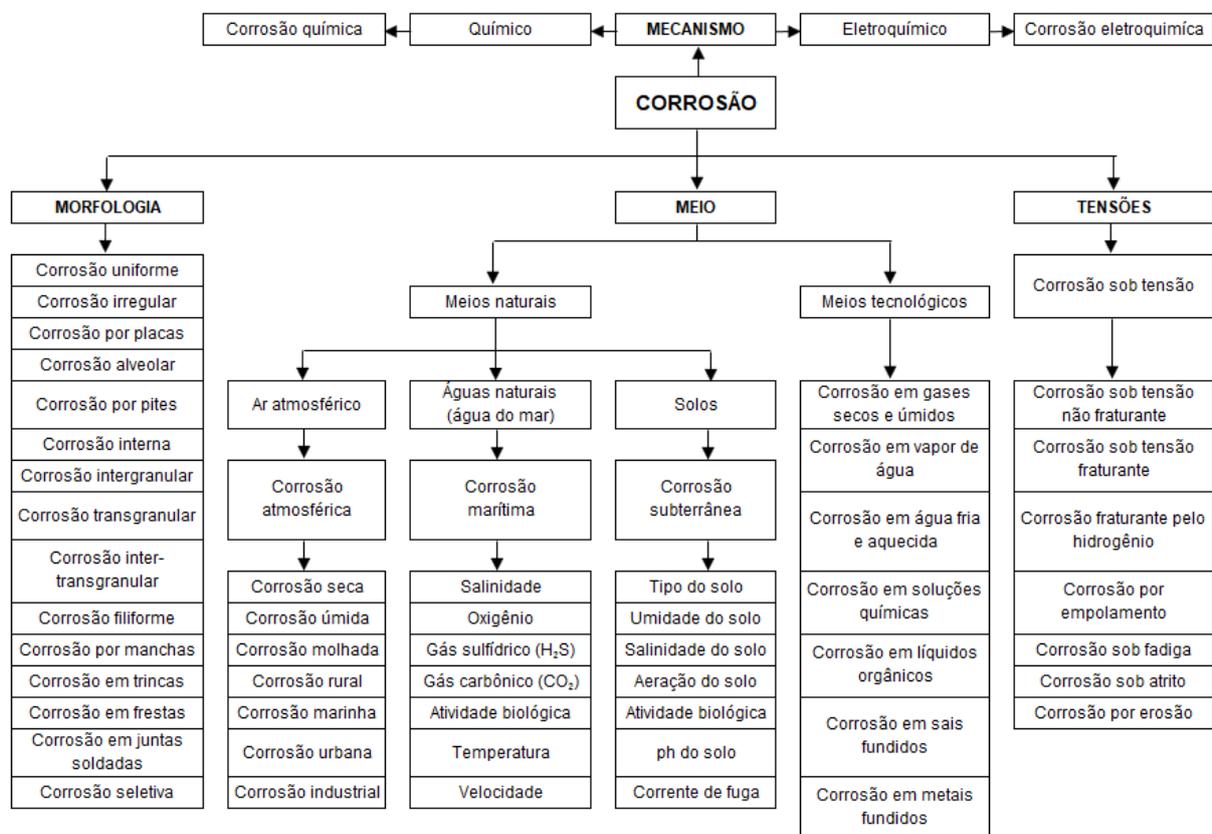


Figura 1 - Classificação das formas de corrosão. Fonte: Matlakhov & Matlakhova, 2021

Quando se avalia os tipos de corrosão, é essencial abranger a diversidade de fenômenos que podem comprometer a integridade dos materiais metálicos. Entre os principais tipos estão a corrosão uniforme, que causa uma deterioração uniforme da superfície; a corrosão por pites, que resulta em pequenos buracos



profundos; a corrosão por frestas, que ocorre em áreas confinadas; a corrosão intergranular, que ataca as bordas dos grãos metálicos; e a corrosão galvânica, provocada pela combinação de dois metais diferentes em um eletrólito. Adicionalmente, a corrosão por placas, que afeta grandes superfícies metálicas em placas; a corrosão filiforme, que se manifesta em forma de filamentos finos e ramificados; e a corrosão alveolar, que cria cavidades arredondadas na superfície metálica, também são importantes. A corrosão por empoamento por hidrogênio, que resulta na formação de bolhas internas devido à absorção de hidrogênio, e a corrosão em torno do cordão de solda, que ocorre em áreas adjacentes às soldas, são fenômenos críticos para considerar. Por fim, a corrosão por esfoliação, que causa a separação em camadas do material, é também um tipo significativo. Compreender essas formas distintas é crucial para a escolha de materiais e métodos adequados para prevenção e controle da corrosão (Ramanathan, 1997; Gentil, 2022).

Uma vez descoberta a causa e a forma de corrosão, o próximo passo é determinar a melhor maneira de reverter a situação. O conhecimento dos mecanismos envolvidos em uma reação de corrosão é essencial para o controle efetivo desta, pois eles podem sugerir a melhor forma de combate (Lattmann & Alves, 2020).

Os métodos de controle de corrosão consistem em revestimentos protetores, metais e ligas resistentes à corrosão, inibidores de corrosão, polímeros, proteção anódica e catódica, serviços de controle de corrosão, pesquisa e desenvolvimento de corrosão e educação e treinamento (Sastri, 2015).

Em todos os métodos utilizados para proteção contra a corrosão, o fator econômico é primordial. Qualquer medida será vantajosa economicamente se o custo da manutenção baixar, sendo necessária, portanto, uma análise econômica para avaliar qual método de proteção é mais vantajosa para determinado equipamento (Lattmann & Alves, 2020).

De acordo com Yanhua & Jiang (2023), o uso de inibidores de corrosão é o meio mais econômico e prático de controlar a corrosão metálica em diferentes meios corrosivos.

Os inibidores de corrosão são um dos principais métodos utilizados para reduzir problemas de corrosão em instalações metálicas em todo o mundo. Uma das instalações mais caras e corrosivas em plantas químicas e refinarias é o sistema de purificação de gás. O método de proteção mais econômico e eficaz é a adição de inibidores ao circuito fechado de circulação do sistema (Carew et al., 1996).

A inibição de corrosão consiste na adição de produtos químicos conhecidos como inibidores de corrosão, que minimizam a extensão da corrosão (Sastri, 2011; Souza et al., 2023).

Inibidor é uma substância ou mistura de substâncias que, quando presente em concentrações adequadas no meio corrosivo, reduz ou elimina a corrosão. Substâncias com essas características têm sido muito usadas como um dos melhores métodos para proteção contra a corrosão, e muitas pesquisas, visando à utilização de novos compostos com esse objetivo, têm sido estimuladas por diversas indústrias (Gentil, 2022). Segundo Zhang et al. (2022), a aplicação do inibidor de corrosão é um dos meios mais práticos e eficazes para inibir a corrosão do metal em um meio.

Um inibidor de corrosão pode funcionar de duas maneiras. Em algumas situações os inibidores adicionados podem alterar o ambiente corrosivo para um ambiente não corrosivo ou menos corrosivo através de sua interação com as espécies corrosivas. Em outros casos, o inibidor de corrosão interage com a superfície do metal e, como consequência, inibe a corrosão do metal (Sastri et al., 2007).

De acordo com Gentil (2022), existem diferentes classificações para os inibidores, entre as quais aquelas baseadas na composição e no comportamento. Em relação à composição, podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos, e quanto ao seu comportamento, em anódicos, catódicos, oxidantes, não-oxidantes e de adsorção.

Inibidores inorgânicos normalmente funcionam passivando a superfície metálica sem exigir oxigênio. Estes incluem íons de cromato e nitrato, que podem ser reduzidos enquanto oxidam as superfícies metálicas para



formar um filme de óxido passivo. Outros compostos inorgânicos requerem oxigênio para funcionar, incluindo fosfatos, silicatos, boratos, tungstos e molibdatos. Eliminar o uso de compostos mais tóxicos ao meio ambiente, como os cromatos e dicromatos, e substituí-los por produtos químicos mais ecológicos, tem sido uma grande mudança de direção (Roberge, 2019). A maioria dos inibidores inorgânicos (como os cromatos) não são mais úteis, porque representam um problema de saúde e segurança (Forsyth & Hinton, 2014).

Inibidores orgânicos são compostos químicos que são adicionados a um meio corrosivo com o objetivo de reduzir ou inibir o processo de corrosão de um material metálico. Eles são frequentemente utilizados na indústria para proteger equipamentos e estruturas metálicas contra a corrosão, prolongando sua vida útil e evitando perdas financeiras. Os inibidores orgânicos podem ser obtidos a partir de fontes naturais, como extratos vegetais, ou sintetizados quimicamente em laboratório. A maioria dos inibidores de corrosão sintéticos (orgânicos) tradicionais é considerada não favorável ao meio ambiente, devido à sua alta toxicidade e capacidade de bioacumulação (Quraishi, et al., 2020). Os extratos de plantas são candidatos ideais para substituir os tradicionais inibidores de corrosão orgânicos sintéticos e inorgânicos, caros e tóxicos. Os extratos de plantas contêm vários constituintes fitoquímicos que podem facilmente adsorver e inibir corrosão metálica (Verma et al., 2018).

A crescente preocupação com a toxicidade, biodegradabilidade e bioacumulação de inibidores de corrosão lançados no meio ambiente, exigem que os inibidores de corrosão sejam atóxicos, nos quais não agredem ao meio ambiente (Sastri, 2011).

Os problemas ambientais causados pela maioria dos produtos químicos em geral e aqueles usados na proteção contra corrosão em particular, favoreceram o desenvolvimento da chamada química verde em relação aos inibidores de corrosão. A nova legislação para substâncias químicas exige que essas substâncias sejam ambientalmente aceitáveis, com baixa toxicidade para os seres humanos. Este tipo de inibidor de corrosão é conhecido como ambientalmente aceitáveis, inibidores naturais, verdes ou ecológicos (Forsyth & Hinton, 2014). Ainda de acordo com Forsyth & Hinton (2014) a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, a química verde consiste em produtos químicos e processos químicos projetados para reduzir ou eliminar impactos ambientais negativos. O uso e a produção desses produtos químicos podem envolver a redução de resíduos, componentes não tóxicos e maior eficiência. A química verde é uma abordagem altamente eficaz para a prevenção da poluição, porque aplica soluções científicas inovadoras a situações ambientais do mundo real.

Os inibidores naturais podem ser extraídos de raízes, caules, folhas, flores, frutos, sementes e outras partes das plantas. Os extratos de plantas naturais têm uma série de benefícios, incluindo serem ecologicamente corretos, não tóxicos, facilmente acessíveis e comparativamente mais baratos. Eles também são biodegradáveis e livres de metais pesados e outras substâncias tóxicas (Zhang et al., 2022).

Inibidores de corrosão têm sido usados para preservar a integridade de componentes metálicos de instalações de plantas sob condições corrosivas severas, que levariam à falha ou redução do ciclo operacional de unidades essenciais (Assis et al., 2015).

Os extratos vegetais contêm uma variedade de constituintes fitoquímicos, como taninos, alcalóides, flavonóides, saponinas e outros compostos heterocíclicos. Esses fitoquímicos têm sido considerados potenciais inibidores de corrosão. O mecanismo de inibição dos inibidores de corrosão verdes depende de porções orgânicas heterocíclicas, como alcalóides, flavonóides, celulose, taninos e moléculas policíclicas, que são úteis na formação do filme na superfície do metal (Chauhan et al., 2022). Compostos de metabólitos secundários contidos em plantas, como taninos, alcalóides e saponinas, podem ser usados como inibidores orgânicos (Sari & Nazruddin, 2022).

Segundo Haida et al. (2015), em seu estudo demonstrou que a goiaba tem alto potencial antioxidante, pois contém grande quantidade de compostos fenólicos, tanto na polpa como nas sementes. Os extratos vegetais se



tornaram o foco da pesquisa de inibidores de corrosão devido à sua baixa toxicidade, fácil disponibilidade e preparação econômica (Mo et al., 2016). De acordo com o El-Kady et al. (2017), os extratos de sementes de goiaba são uma excelente fonte de antioxidantes, graças aos compostos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos) presentes em sua composição. Esses compostos são responsáveis pela atividade antioxidante dos extratos de sementes de goiaba (Kamath et al., 2008; Angulo-López et al., 2021; Silva et al., 2025).

Kumar et al. (2011), afirmam a eficiência do extrato de semente de *P. guajava* como um inibidor de corrosão seguro, ecológico e alternativo para aço carbono em meio ácido.

Metodologia

Os ensaios de perda de massa e o preparo do extrato foram realizados no Laboratório de Química da Universidade Candido Mendes, em Campos dos Goytacazes, RJ. Observa-se na Figura 2 o fluxograma contendo as etapas desenvolvidas na pesquisa.

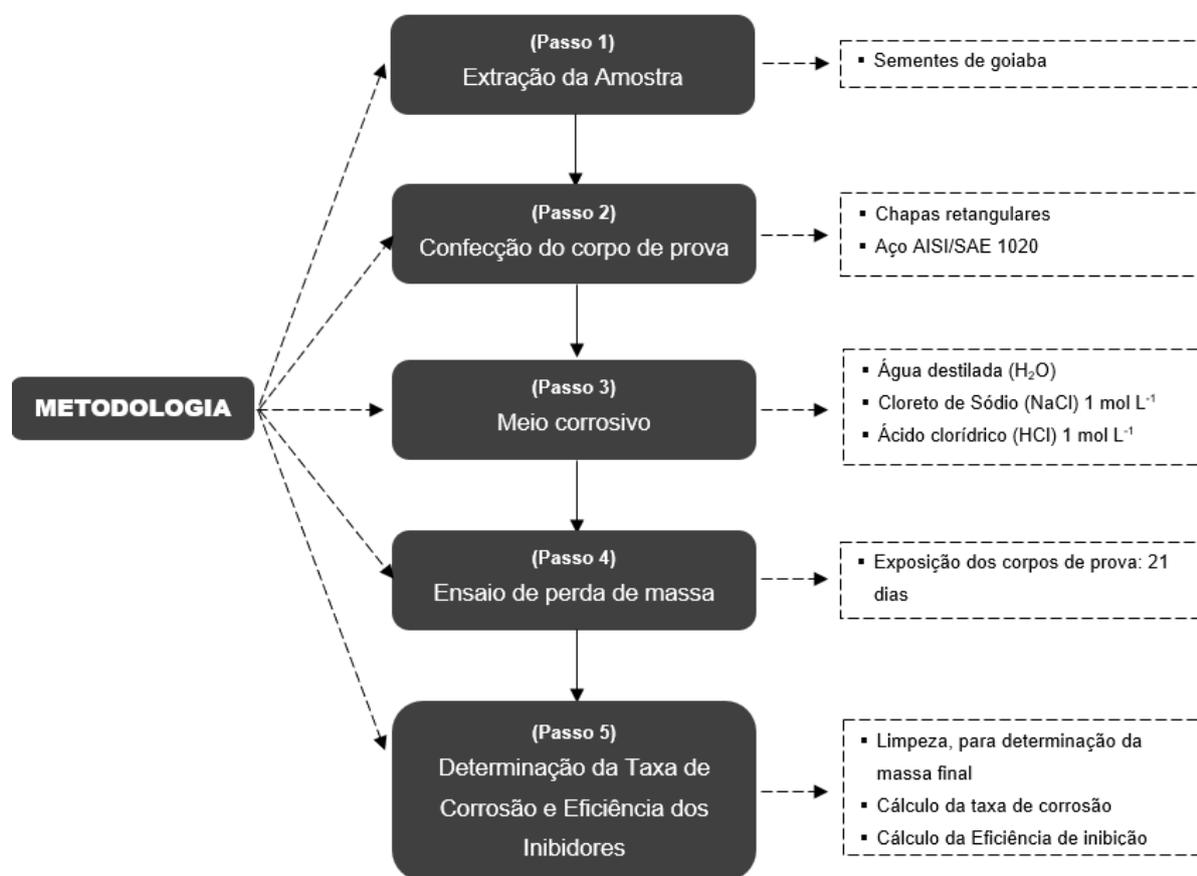


Figura 2 - Fluxograma das etapas do ensaio de perda de massa Fonte: dados da pesquisa

Materiais

Os materiais empregados neste estudo incluem dezoito corpos de prova, confeccionados a partir de chapas metálicas retangulares com dimensões aproximadas de 50 × 25 mm, espessura de 3 mm e orifício central de 8 mm de diâmetro. Além disso, foram utilizadas sementes de goiaba, água destilada, solução de cloreto de sódio



(NaCl) a $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ e solução de ácido clorídrico (HCl) a $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. As quantidades dos reagentes líquidos e dos materiais biológicos foram determinadas conforme a demanda experimental de cada ensaio, assegurando a reprodutibilidade e o controle das condições experimentais.

Métodos

Extração da amostra

As sementes de goiaba (*Psidium guajava* L.) foram retiradas manualmente da fruta, e em seguida foram lavadas em água corrente e seca ao ar livre. Após a secagem as sementes foram trituradas até virar pó (Figura 3).

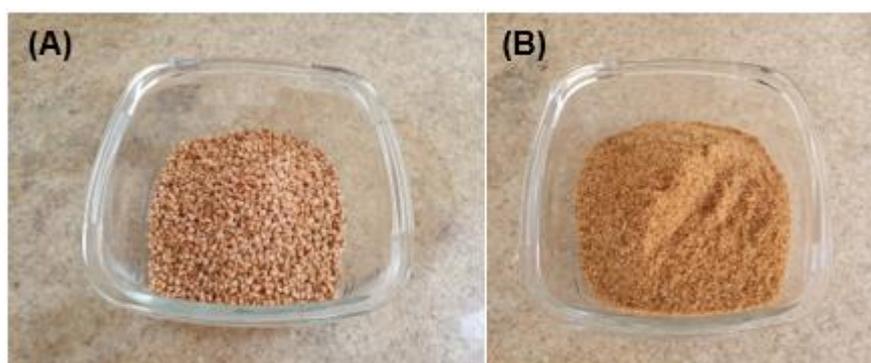


Figura 3 - Sementes de goiaba: (A) antes de serem trituradas; (B) após serem trituradas. Fonte: dados da pesquisa

Confeção do corpo de prova

Os corpos de prova foram confeccionados na forma de chapas retangulares de aço carbono AISI/SAE 1020, com área superficial total de aproximadamente 30 cm^2 (Figura 4). Esses corpos de prova foram preparados a partir de uma barra chata com 25 mm de largura e 2 mm de espessura. Inicialmente, foram lixados com lixas d'água de diferentes granulometrias, lavados com água destilada e, em seguida, secos. A massa inicial foi determinada com o auxílio de uma balança de precisão ($\pm 0,01 \text{ g}$). Para cada condição de tempo de imersão, foi utilizado um corpo de prova distinto.



Figura 4 - Corpos de prova em aço carbono AISI/SAE 1020. Fonte: dados da pesquisa

Para a fixação dos corpos de prova durante os ensaios, foi realizado um furo central em cada amostra utilizando uma broca de 8 mm de diâmetro. O processo de furação foi realizado com o auxílio de uma furadeira de bancada da marca DeWalt, modelo DWE1622K, amplamente utilizado em laboratórios e oficinas devido à sua precisão, robustez e facilidade de operação.



Meio corrosivo

Foram utilizados neste trabalho 3 meios corrosivos: água (H₂O), solução de cloreto de sódio (NaCl) 1 mol L⁻¹ e ácido clorídrico (HCl) 1 mol L⁻¹.

Ensaio de perda de massa

O ensaio foi realizado utilizando 18 corpos de prova, onde foram previamente preparados, pesados em balança analítica, com precisão de $\pm 0,01$ g, tendo assim suas massas iniciais determinadas. As massas finais dos corpos de prova foram obtidas após 21 dias de exposição à temperatura ambiente em H₂O, solução de HCl 1 mol L⁻¹ e solução de NaCl 1 mol L⁻¹, na ausência e presença de concentrações de 1 g L⁻¹ do inibidor (Figura 5).



Figura 5 - Ensaio de corrosão: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

Taxa de Corrosão e Efetividade dos Inibidores

Após o cumprimento do tempo de imersão pré-estabelecido, as amostras metálicas foram retiradas do meio corrosivo e decapadas, utilizando uma esponja de aço. Após o processo de decapagem, os corpos de prova foram novamente lavados em água corrente, secos e pesados, obtendo assim a sua massa final.

A velocidade do processo corrosivo (W_{corr}) foi expressa a partir do cálculo da taxa de corrosão, em milímetros por ano (mm/ano), mediante a equação 1 (GENTIL, 2022):

$$W_{\text{corr}} = \frac{KM}{Atp} \quad (1)$$

Onde:

K = Constante relacionada à unidade desejada de mm/ano ($8,76 \times 10^4$), M = Perda de massa (g), A = Área exposta (cm²), t = Tempo de exposição (h), ρ = Massa específica do material (para aço carbono 7,86 g/cm³).

A Eficiência de Inibição (EI%), segundo Gentil (2022), foi calculada através equação 2:



$$EI\% = \frac{W_{\text{sem extrato}} - W_{\text{com extrato}}}{W_{\text{sem extrato}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$W_{\text{sem extrato}}$ = taxa de corrosão sem extrato (mm/ano) e $W_{\text{com extrato}}$ = taxa de corrosão com extrato (mm/ano).

Resultados e Discussão

A perda de massa dos corpos de prova imersos em H₂O, em solução de HCl e em solução NaCl, na presença e na ausência de inibidor, bem como a massa das chapas avaliadas no início e final do ensaio, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Perda de massa dos corpos de prova analisados

Solução	Inibidor (semente de goiaba)	Chapas	Massa das chapas (g)		Perda de Massa
			Início	21 dias	
H ₂ O	Sem Inibidor	Amostra 1	28,89	28,78	0,11
	Sem Inibidor	Amostra 2	28,85	28,74	0,11
	Sem Inibidor	Amostra 3	28,44	28,35	0,09
	1 g L ⁻¹	Amostra 4	28,87	28,80	0,07
	1 g L ⁻¹	Amostra 5	29,33	29,25	0,08
	1 g L ⁻¹	Amostra 6	28,74	28,68	0,06
HCl	Sem Inibidor	Amostra 7	28,82	17,08	11,74
	Sem Inibidor	Amostra 8	28,85	17,36	11,49
	Sem Inibidor	Amostra 9	29,13	17,84	11,29
	1 g L ⁻¹	Amostra 10	29,03	23,66	5,37
	1 g L ⁻¹	Amostra 11	28,67	23,45	5,22
	1 g L ⁻¹	Amostra 12	28,69	25,23	3,46
NaCl	Sem Inibidor	Amostra 13	28,51	28,46	0,05
	Sem Inibidor	Amostra 14	28,89	28,79	0,10
	Sem Inibidor	Amostra 15	28,91	28,83	0,08
	1 g L ⁻¹	Amostra 16	29,18	29,10	0,08
	1 g L ⁻¹	Amostra 17	28,53	28,53	0,00
	1 g L ⁻¹	Amostra 18	29,04	29,01	0,03

Fonte: dados da pesquisa

A partir desses dados, foram calculadas as taxas de corrosão e as eficiências de inibição do aço carbono AISI/SAE 1020 imersos nos meios corrosivos.

A tabela 2 mostra os resultados da taxa de corrosão, obtidos a partir do ensaio de perda de massa do aço carbono 1020 em meio de H₂O, HCl e NaCl, na ausência e presença do inibidor (pó das sementes de goiaba), e suas respectivas eficiências.



Tabela 2 - Taxa de corrosão (W_{corr}) e eficiência de inibição (EI) obtidas para o aço-carbono em meio H_2O , HCl e NaCl, na ausência e presença de inibidor natural (pó de semente de goiaba), durante 21 dias de imersão

Solução	Inibidor (semente de goiaba)	Chapas	W_{corr} (mm/ano)	Média	EI (%)
H₂O	Sem Inibidor	Amostra 1	0,0806	0,0760	–
	Sem Inibidor	Amostra 2	0,0808		
	Sem Inibidor	Amostra 3	0,0666		
	1 g L ⁻¹	Amostra 4	0,0514	0,0510	32,90
	1 g L ⁻¹	Amostra 5	0,0574		
	1 g L ⁻¹	Amostra 6	0,0442		
HCl	Sem Inibidor	Amostra 7	8,7075	8,4255	–
	Sem Inibidor	Amostra 8	8,4118		
	Sem Inibidor	Amostra 9	8,1572		
	1 g L ⁻¹	Amostra 10	3,9673	3,4452	59,11
	1 g L ⁻¹	Amostra 11	3,8241		
	1 g L ⁻¹	Amostra 12	2,5442		
NaCl	Sem Inibidor	Amostra 13	0,0370	0,0561	–
	Sem Inibidor	Amostra 14	0,0728		
	Sem Inibidor	Amostra 15	0,0586		
	1 g L ⁻¹	Amostra 16	0,0589	0,0270	51,95
	1 g L ⁻¹	Amostra 17	0,0000		
	1 g L ⁻¹	Amostra 18	0,0220		

W_{corr} = Taxa de Corrosão, EI = Eficiência de Inibição. Fonte: dados da pesquisa

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, pode-se observar que a presença do inibidor demonstrou uma redução na taxa de corrosão das amostras, em comparação com as amostras sem inibidor. Isso pode ser confirmado pelos gráficos das figuras 6, 7 e 8, os quais mostram as taxas de corrosão obtidas para as amostras imersas em solução de H_2O , HCl e NaCl respectivamente. Esses resultados indicam que as sementes de goiaba possuem a capacidade de inibir a corrosão do aço carbono 1020.

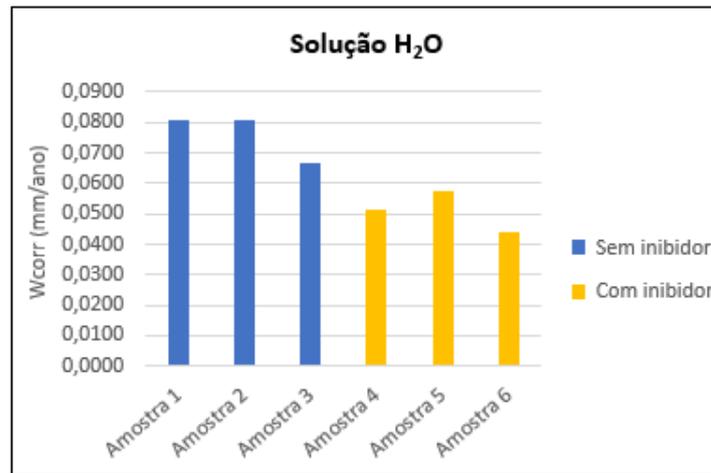


Figura 6 - Gráfico da taxa de corrosão das amostras em solução de H₂O. Fonte: dados da pesquisa

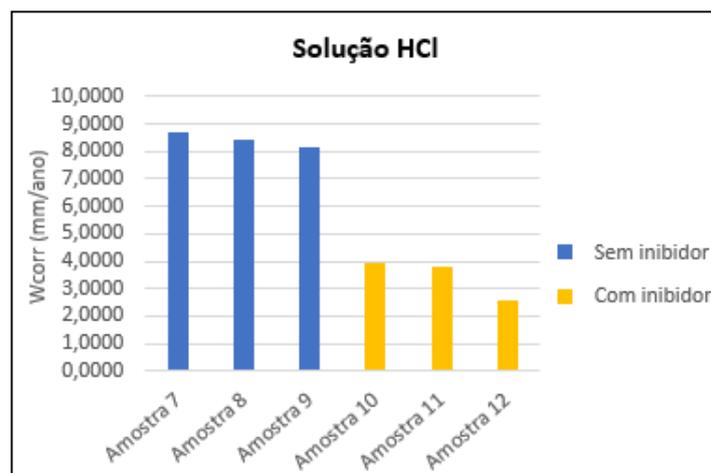


Figura 7 - Gráfico da taxa de corrosão das amostras em solução de HCl. Fonte: dados da pesquisa

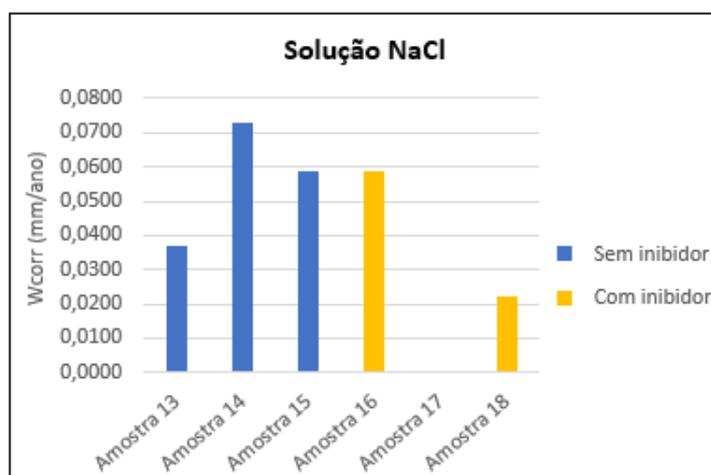


Figura 8 - Gráfico da taxa de corrosão das amostras em solução de NaCl. Fonte: dados da pesquisa

Em relação à eficiência de inibição, o inibidor de corrosão foi mais efetivo em meio ácido, com eficiência de 59,11%, comparado com o meio neutro (Figura 9), tomando como parâmetros os resultados obtidos nos ensaios de perda de massa dos corpos de prova analisados (Tabela 1).

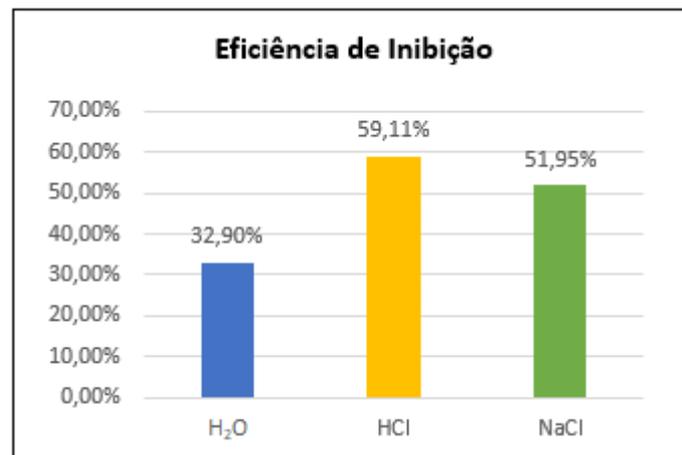


Figura 9 - Gráfico de eficiência de inibição. Fonte: dados da pesquisa

Foi realizado o registro fotográfico de todos os ensaios de corrosão e corpos de prova utilizados antes e após os 21 dias.

Todos os ensaios que são relatados da Figura 10 até a Figura 22 a imagem (A) mostra o corpo de prova no início do ensaio. No ensaio de corrosão em solução de H₂O (Figuras 10 e 11), nota-se na Figura 10-B a presença de produtos de corrosão ao redor dos corpos de prova, enquanto na Figura 11-B não é identificada a formação de produtos de corrosão. Ao analisar a superfície dos corpos de prova na Figura 12-B, é possível visualizar marcas do produto de corrosão (com uma coloração mais escura e textura irregular). Já na Figura 13-B, não é possível observar marcas de corrosão nos corpos de prova.

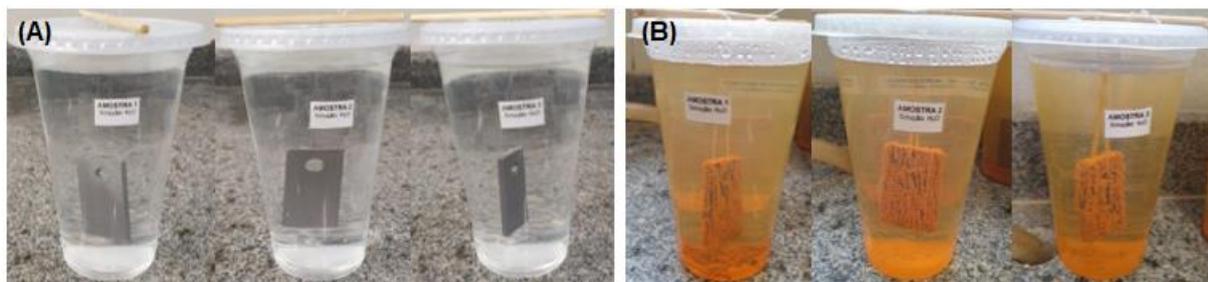


Figura 10 - Ensaio de corrosão em solução de H₂O sem inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

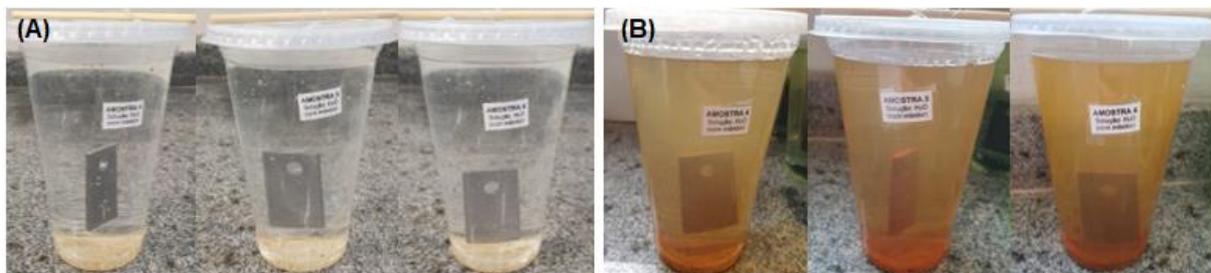


Figura 11 - Ensaio de corrosão em solução de H₂O com inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa



Figura 12 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de H₂O sem inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa



Figura 13 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de H₂O com inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

No ensaio de corrosão em solução de HCl (Figuras 14 e 15), que se mostrou o meio mais agressivo, devido à sua natureza ácida, com uma taxa de corrosão de mais de 8 mm/ano (Tabela 2), é possível observar claramente na Figura 14-B um ataque corrosivo. Pode-se notar também a presença de produtos de corrosão ao redor dos corpos de prova, bem como uma coloração escura e a existência de resíduos provenientes da corrosão no fundo do recipiente. Já na Figura 15-B, não é identificada a formação de produtos de corrosão, não há mudança na coloração dos corpos de prova e nem existência de resíduos de corrosão no fundo do recipiente, evidenciando que a presença do inibidor reduziu o ataque corrosivo. Porém, foi observada uma corrosão por Empolamento pelo Hidrogênio (Figura 16), onde o hidrogênio penetra no material metálico e, em função de seu pequeno volume, difunde-se rapidamente em regiões com descontinuidades, como inclusões e vazios, transformando-se em H₂, exercendo pressão e originando a formação de bolhas (empolamento).

Ao analisar a superfície do corpo de prova na Figura 17-B, é possível observar uma corrosão uniforme agressiva, enquanto na Figura 18-B observa-se uma corrosão menos agressiva, quando comparada com a Figura 17-B.

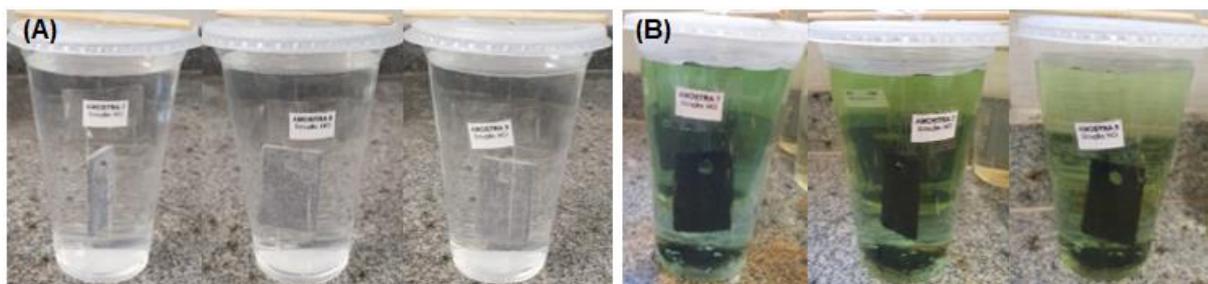


Figura 14 - Ensaio de corrosão em solução de HCl sem inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

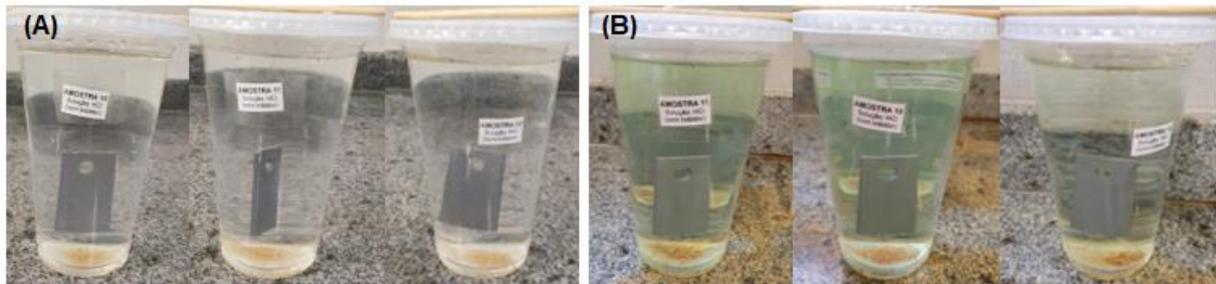


Figura 15 - Ensaio de corrosão em solução de HCl com inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa



Figura 16 - Corrosão por Empolamento pelo Hidrogênio. Fonte: dados da pesquisa

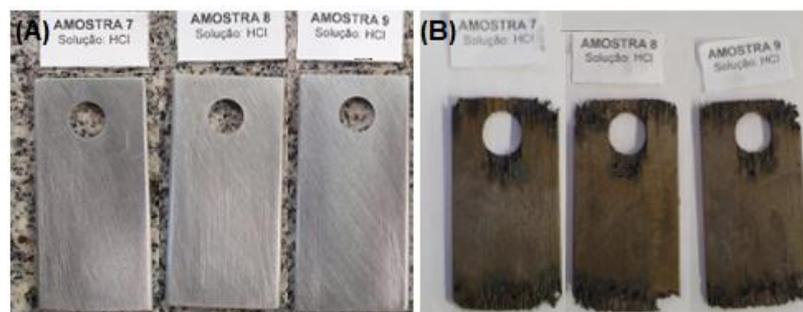


Figura 17 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de HCl sem inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

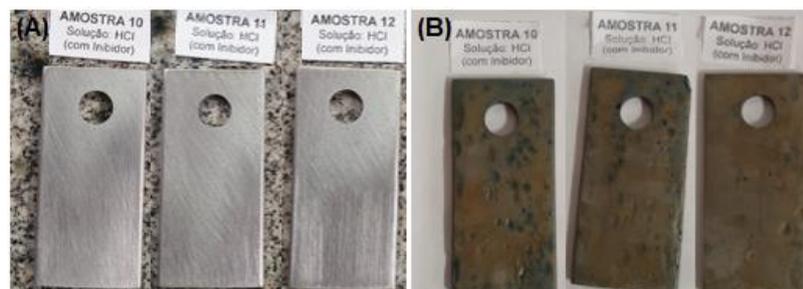


Figura 18 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de HCl com inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

No ensaio de corrosão em solução de NaCl (Figuras 19 e 20), nota-se na Figura 19-B a presença de produtos de corrosão ao redor dos corpos de prova, enquanto na Figura 20-B não é identificada a formação de produtos de corrosão. Ao analisar a superfície dos corpos de prova na Figura 21-B, é possível visualizar marcas do produto de corrosão. Já na Figura 22-B, não é possível observar marcas de corrosão.

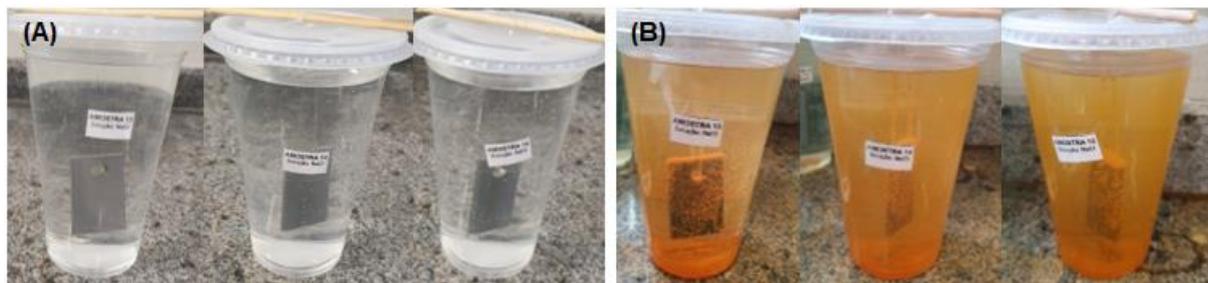


Figura 19 - Ensaio de corrosão em solução de NaCl sem inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

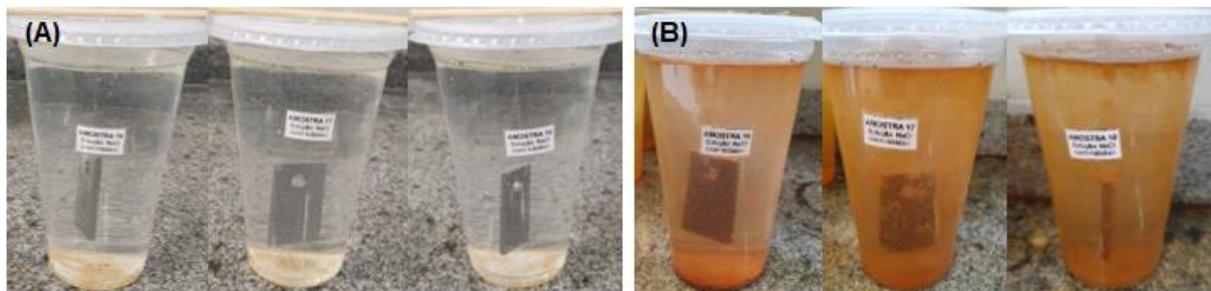


Figura 20 - Ensaio de corrosão em solução de NaCl com inibidor: (A) início do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa



Figura 21 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de NaCl sem inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa



Figura 22 - Corpo de prova utilizado no ensaio em solução de NaCl com inibidor: (A) antes do ensaio; (B) após 21 dias de ensaio. Fonte: dados da pesquisa

Conclusão

A análise da corrosão no aço carbono, por meio do ensaio de perda de massa, evidenciou uma significativa redução na taxa de ataque corrosivo na presença do pó de semente de goiaba, especialmente em meio ácido.



Os resultados indicam que o inibidor natural atuou de forma eficaz, promovendo uma proteção considerável à superfície metálica quando comparado ao ensaio realizado na ausência do aditivo.

Com base nos resultados, é possível afirmar que as sementes de goiaba, na forma de pó, podem atuar como inibidora de corrosão para o aço carbono AISI/SAE 1020. Os resultados obtidos nos ensaios de perda de massa mostraram uma redução na perda de massa e na taxa de corrosão das amostras quando expostas em H₂O, em solução de HCl e em solução de NaCl contendo pó de sementes de goiaba. Isso indica que as sementes de goiaba possuem propriedades inibidoras de corrosão. A análise dos resultados obtidos evidenciou a capacidade antioxidante dos compostos presentes nas sementes de goiaba, que contribuem significativamente para a proteção do material contra processos corrosivos.

Esses resultados são de grande relevância, uma vez que apontam para a viabilidade do uso de inibidores naturais, como as sementes de goiaba, em processos de proteção contra a corrosão em aplicações industriais. A utilização de inibidores naturais representa uma alternativa mais sustentável e economicamente viável, em comparação com os inibidores químicos tradicionais, impactando positivamente a indústria.

O aço carbono por ser um material com elevado custo benefício torna-se muito utilizado em componentes mecânicos, como engrenagens, eixos, virabrequins, entre outros, nos quais requerem sempre uma manutenção anticorrosiva, e desta forma, a semente de goiaba é uma possível matéria-prima de fácil aquisição e não tóxica ao meio ambiente como inibidor natural de corrosão do aço carbono 1020 em meio ácido e neutro.

A eficiência de inibição do pó de sementes de goiaba foi de 59,11% em meio de HCl, 51,95% em meio de NaCl e 38,90% em meio de H₂O. No entanto, é importante ressaltar que mais pesquisas e estudos são necessários para entender completamente os mecanismos de inibição de corrosão de sementes de goiaba e melhorar sua eficiência como inibidor de corrosão. Além disso, é necessário considerar outros fatores, como a concentração e o tempo de exposição dos extratos de sementes de goiaba, para determinar as condições ideais de aplicação.

Por fim, conclui-se que as sementes de goiaba, na forma de pó, podem atuar como inibidor de corrosão para o aço carbono em meio ácido e neutro.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2000). **Aço carbono e ligados para construção mecânica – Designação e composição química (NBR NM 87)**. Abnt. <https://pt.scribd.com/doc/27282382/Abnt-Nbr-Nm-87-2000-aco-Carbono-E-Ligados-para-Construcao-Mecanica-designacao-E-Composicao-Quimica>
- Angulo-López JE, Flores-Gallegos AC, Torres-León C, Ramírez-Guzmán KN, Martínez, GA, Aguilar CN 2021. Guava (*Psidium guajava* L.) Fruit and Valorization of Industrialization By-Products *Processes* 9(6):1-17. <https://doi.org/10.3390/pr9061075>
- Askeland DR, Wright WJ 2016. *The science and engineering of materials*. Cengage Learning, Boston, 870 pp.
- Assis BVRD, Meira FO, Pina VGSS, Andrade GFD, Cotrim BA, Resende GOD, D'Elia E, Souza, FCD 2015. Inhibitory Effect of Piper Nigrum L. Extract on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media. *Revista Virtual de Química* 7(5):1830-1840. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150105>
- Callister Jr WD, Rethwisch DG 2019. *Fundamentos Da Ciência E Engenharia De Materiais-Uma Abordagem Integrada*. LTC, Rio de Janeiro, 880 pp.



- Callister Jr WD, Rethwisch DG 2018. *Materials science and engineering: An introduction*. Wiley, Nova Jersey, 977 pp.
- Carew J, Al-Sumait H, Abdullah A, Al-hashem A 1996. Evaluation Of Corrosion Inhibitors For Carbon Steel, Monel 400 And Stainless Steel 321 In A Monoethanolamine Environment Under Stagnant And Hydrodynamic Conditions. *Industrial corrosion and corrosion control technology*. Kuwait Institute For Scientific Research, Safat, p. 493-500.
- Chauhan DS, Quraishi MA, Al-Qahtani H, Mazumber MAJ 2022. Green Polymeric Corrosion Inhibitors: Design, Synthesis and Characterization. *Polymeric corrosion inhibitors for greening the chemical and petrochemical industry*. Wiley, New Jersey, p. 1-17.
- Chiaverini V 2012. *Aços E Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos*. Abm, São Paulo, 576 pp.
- El-Kady TMA, Toliba AO, Abd El-Rahman MK, Abo El-Maati SM 2017. Effect Of Using Guava And Grape Seeds Extracts On Oxidative Stability Of Blended Sunflower And Soybean Oils. *Zagazig Journal of Agricultural Research* 44(3): 1047–1060. <https://doi.org/10.21608/zjar.2017.52304>
- Felipe MBMC, Maciel MAM, Medeiros SRB, Silva DR 2013. General Aspects of Corrosion and Plant Inhibitors. *Revista Virtual de Química* 5(4):746-759. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20130053>
- Forsyth M, Hinton B 2014. *Rare earth-based corrosion inhibitors*. Woodhead Publishing, Cambridge, 319 pp.
- Gentil V 2022. *Corrosão*. Ltc, Rio de Janeiro, 408 pp.
- Haida KS, Haas J, Mello, SAD, Haida KS, Abrão RM, Sahd R 2015. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Guava (*Psidium guajava* L.) Fresh and Frozen. *Revista Fitos* 9(1):37–44. <https://doi.org/10.5935/2446-4775.20150004>
- Kamath J, Rahul N, Ashok Kumar C, Lakshmi Sm 2008. *Psidium guajava* L: A review. *International Journal of Green Pharmacy* 2(1):9-12. <https://doi.org/10.4103/0973-8258.39155>
- Kumar KPV, Pillai MSN, Thusnavis GR 2011. Seed Extract of *Psidium guajava* as Ecofriendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Journal of Materials Science & Technology* 27(12):1143–1149. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60010-3](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60010-3)
- Kobzar YL, Fatyeyeva K 2021. Ionic liquids as green and sustainable steel corrosion inhibitors: recent developments. *Chemical Engineering Journal* 425: 131480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2021.131480>.
- Kumar S, Singh AP 2024. Characterization of surface properties of TiC ceramic coating developed on AISI 1020 steel. *Surfaces And Interfaces* 46: 103960. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfin.2024.103960>.
- Lattmann BH, Alves KMP 2020. *Corrosão: Princípios, análises e soluções*. Intersaberes, Curitiba, 228 pp.
- Matlakhov AN, Matlakhova LA 2021. *Corrosão e proteção dos materiais*. Paco Editorial, Jundiáí, 340 pp.
- Mo S, Luo HQ, Li NB 2016. Plant extracts as “green” corrosion inhibitors for steel in sulphuric acid. *Chemical Papers* 70(9):1-13. <https://doi.org/10.1515/chempap-2016-0055>



Pfeil W, Pfeil M 2021. *Estruturas De Aço Dimensionamento Prático*. Ltc, Rio de Janeiro, 360 pp.

Quadros GP, Rodrigues LM, Silva SND 2020. Avaliação Eletroquímica Da Cafeína Como Inibidor De Corrosão Do Alumínio Em Meio Ácido. *Práticas de corrosão*. Rfb Editora, Belém, p. 85-91. <https://doi.org/10.46898/rfb.9786599175107.10>

Quraishi MA, Chauhan DS, Saji VS 2020. Heterocyclic corrosion inhibitors. *Heterocyclic organic corrosion inhibitors: Principles and applications*. Elsevier, Amsterdam, p. 1-19.

Ramanathan LV 1997. *Corrosao E Seu Controle*. Hemus, Rio de Janeiro, 342 pp.

Revie RW, Uhlig HH 2008. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Wiley. New Jersey, 490 pp.

Roberge PR 2019. *Handbook of corrosion engineering*. McGraw-Hill, New York, 1078 pp.

Rocha JCD, Gomes JADCP 2017. Inibidores de corrosão naturais—Proposta de obtenção de produtos ecologicos de baixo custo a partir de resíduos industriais. *Matéria* 22(1):1-10. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170005.0263>

Santos GA dos 2015. *Tecnologia dos materiais metálicos: Propriedades, estruturas e processos de obtenção*. Editora Erica, São Paulo, 192 pp.

Sari FR, Nazruddin I 2022. Effectiveness of Guava Leaf Extract (*Psidium guajava* L.) as Corrosion Inhibitor of Stainless Steel Orthodontic Wire. *International Journal of Science and Healthcare Research*. 7(2) 166–172. <https://doi.org/10.52403/ijshr.20220425>

Sastri VS 2015. *Challenges in corrosion: Costs, causes, consequences, and control*. Wiley, New Jersey, 432 pp.

Sastri VS 2011. *Green corrosion inhibitors: Theory and practice*. Wiley. New Jersey, 328 pp.

Sastri VS, Ghali E, Elboudjaini M 2007. Corrosion Prevention and Protection: practical solutions. *Practical Solutions*. Wiley, Chichester, p. 461-551.

Silva MA, Siqueira FB; Machado FAL, Shimoda E, Silva, Fabio F, Shimoya A 2025. Antioxidantes Naturais para o Desenvolvimento de Embalagens Recicláveis com Inibidores de Corrosão para Peças Metálicas. *Fronteiras: Journal Of Social, Technological And Environmental Science* 14(1): 186-218. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i1p.186-218>.

Souza L, Pereira E, Matlakhova L, Nicolin VAF, Monteiro SN, Azevedo ARG 2023. Ionic liquids as corrosion inhibitors for carbon steel protection in hydrochloric acid solution: A first review. *Journal Of Materials Research And Technology* 22: 2186-2205. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.066>.

Tolentino NMC 2015. *Processos químicos industriais: Matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão*. Editora Erica, São Paulo 160 pp.



Verma C, Ebenso EE, Bahadur I, Quraishi MA 2018. An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media. *Journal of Molecular Liquids* 266(1):577–590. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.06.110>

Yanhua L, Jiang B 2023. Inhibition of Copper Corrosion Using Conducting Polypyrrole Coatings. *Corrosion and protection of marine engineering materials: Application of conducting polymers and their composites*. CRC Press, New York, p. 1-34.

Zhang D, Yang J, Gan P, Zhang W 2022. Corrosion inhibitors used in alkaline environments. *Eco-friendly corrosion inhibitors: Principles, designing and applications*. Elsevier, Amsterdam, p. 55-67.