



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

DEISE DE FÁTIMA FARIAS BAARS

**ÓLEO ESSENCIAL DE *CINNAMOMUM CASSIA*: UM INIBIDOR NATURAL PARA A
CORROSÃO DO AÇO EM MEIO ÁCIDO.**

ANANINDEUA - PA

2025

DEISE DE FÁTIMA FARIAS BAARS

**ÓLEO ESSENCIAL DE *CINNAMOMUM CASSIA*: UM INIBIDOR NATURAL PARA A
CORROSÃO DO AÇO EM MEIO ÁCIDO.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Engenharia de Materiais do campus Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva
Paula

ANANINDEUA – PA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

B111o Baars, Deise de Fatima Farias.
ÓLEO ESSENCIAL DE CINNAMOMUM CASSIA: UM
INIBIDOR NATURAL PARA A CORROSÃO DO AÇO EM
MEIO ÁCIDO. / Deise de Fatima Farias Baars. — 2025.
45 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de Engenharia de
Materiais, Ananindeua, 2025.

1. Inibidores de corrosão. 2. Materiais metálicos. 3. Perda de
massa. 4. Eficiência de inibição.. 5. Oleo essencial. I. Título.

CDD 620.11

DEISE DE FÁTIMA FARIAS BAARS

**ÓLEO ESSENCIAL DE *CINNAMOMUM CASSIA*: UM INIBIDOR NATURAL PARA A
CORROSÃO DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Materiais, da Universidade Federal do Pará,
Campus Ananindeua, como requisito para
obtenção do título de Bacharela em Engenharia
de Materiais.

Data da aprovação: 27/03/2025

Conceito: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARCOS VINICIUS DA SILVA PAULA

Data: 10/04/2025 09:30:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Marcos Vinicius da Silva Paula.
(FEMat – CAMPANAN – UFPA – Orientador)

Documento assinado digitalmente



ALACID DO SOCORRO SIQUEIRA NEVES

Data: 10/04/2025 18:21:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Alacid do Socorro Siqueira Neves.
(FEMat – CAMPANAN – UFPA – Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente



ALCY FAVACHO RIBEIRO

Data: 23/04/2025 07:47:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Alcy Favacho Ribeiro.
(FAQUIM – CAMPANAN – UFPA – Examinador Externo)

Dedico este trabalho ao meu amado pai, **Délio Baars**, que embora não esteja mais fisicamente presente, continua sendo minha maior inspiração. Seu amor, ensinamentos e força sempre me guiaram, e sei que, de onde estiver, sinta orgulho da minha caminhada. Cada conquista minha é também sua. Obrigada por tudo. Te amarei eternamente, pai.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela sabedoria e força que me sustentaram nesta jornada. Chegar até aqui é resultado da Sua graça e misericórdia. À Nossa Senhora de Fátima, por sua proteção e intercessão, trazendo paz e fé ao meu caminho.

Agradeço ao meu pai, Delio Paulo Moreira Baars (*in memoriam*), que sempre acreditou no meu potencial e sonhou em me ver formada pela UFPA. Sua presença e espírito me deram forças para continuar nos momentos mais desafiadores.

Agradeço à minha mãe, Marlúcia de Fátima dos Santos Farias, por sua dedicação, amor e apoio incondicional, que foram fundamentais para a minha conquista. Sua crença em mim, encorajamento e sacrifícios tornaram este trabalho possível. De coração, muito obrigada, mãe. Este sucesso é nosso.

Agradeço aos meus irmãos e irmãs, por sempre acreditarem em mim e me encorajarem a seguir em frente. Suas palavras de incentivo e apoio foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Em especial a minha irmã Daniela Baars, por toda parceria durante esses anos morando juntas. E aos meus sobrinhos e sobrinhas pelo carinho e alegria que trouxeram à minha vida, tornando esta jornada mais leve e feliz.

Aos meus amigos de curso, em especial, Alicia Zanon, Lucas Costa, Marcia Alcantara e Roseane Cordeiro pelo apoio constante e pelas incontáveis memórias compartilhadas durante esta jornada.

Ao meu amigo de vida, Andrey Amorim, por todos “puxões” de orelha e por sempre acreditar no meu potencial, me incentivando a continuar. Obrigada meu “Chegado!”

Em memória de minha querida amiga Alessandra Pimentel, cuja amizade e apoio sempre serão lembrados com carinho e gratidão.

Agradeço imensamente à família Silva, pelo apoio significativo durante minha trajetória acadêmica. Gratidão, em especial ao Jorge Daniel, por todo apoio que me deu.

Agradeço ao Rodrigo Cesar, por todo companherismo, carinho, amor, paciência comigo e incentivos nesses últimos anos compartilhados. Obrigada por tudo!

Aos professores da FEMat, que me guiaram até este momento presente, o meu sincero agradecimento a todos. Em especial, ao professor Marcos Vinicius, por aceitar me orientar e fornecer suporte ao longo do processo.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, em especial ao Campus Universitário de Ananindeua, pelo acolhimento desde 2020 e pelo suporte durante toda a graduação. E ao laboratório de Polímeros, onde pude fazer a parte experimental desse trabalho.

RESUMO

As consequências da corrosão têm grande impacto global, pois, apesar de serem um fenômeno comum no cotidiano, seu impacto é significativo. Esse processo resulta em desperdício de recursos econômicos, redução da eficiência operacional e até mesmo na inutilização de equipamentos, tornando essencial a tomada de medidas eficazes para sua prevenção e controle. Nesse sentido, destacam-se os inibidores naturais, obtidos a partir de óleos essenciais extraídos de diferentes partes das plantas (folhas, galhos, raízes e casca). Além de serem uma fonte renovável, esses inibidores são economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. A aplicação desses inibidores é um dos principais métodos para reduzir a corrosão em produtos metálicos, precisamente neste trabalho, o aço-carbono. O presente trabalho teve como objetivo, avaliar a eficácia do óleo essencial da folha da canela (*Cinnamomum cassia*) como inibidor natural da corrosão em aço carbono. O método utilizado para a avaliação da eficiência dos óleos foi o gravimétrico (perda de massa). Os ensaios de corrosão foram realizados em meio corrosivo HCl a 1M. as concentrações utilizadas do óleo essencial foi 0,5g/L; 1g/L; 2g/L e 4g/L, por períodos de tempo como de 24h e 7 dias. No período de 24 horas, a concentração máxima do inibidor utilizada (4 g/L) alcançou uma eficiência de 97,7% em meio HCl. Já no período de 7 dias, a mesma concentração de 4 g/L atingiu uma eficiência de 99,7%. Além disso, foi observada uma relação linear entre o aumento da concentração do inibidor e a eficiência anticorrosiva, indicando que concentrações mais altas podem proporcionar uma proteção ainda mais eficaz contra a corrosão. Portanto, os resultados indicam que o óleo essencial da folha de canela se apresenta como um inibidor natural favorável para a proteção de materiais à base de aço-carbono, demonstrando alta eficácia na prevenção da corrosão.

Palavras-chave: Inibidores de corrosão. Materiais metálicos. Perda de massa. Eficiência de inibição.

ABSTRACT

The consequences of corrosion have a significant global impact, as, despite being a common phenomenon in daily life, its effects are considerable. This process leads to the wastage of economic resources, reduced operational efficiency, and even the deactivation of equipment, making it essential to take effective measures for its prevention and control. In this context, natural inhibitors, derived from essential oils extracted from different parts of plants (leaves, branches, roots, and bark), stand out. In addition to being a renewable source, these inhibitors are economically viable and environmentally sustainable. The application of these inhibitors is one of the main methods to reduce corrosion in metallic products, specifically in this study, carbon steel. The objective of this work was to evaluate the effectiveness of cinnamon leaf essential oil (*Cinnamomum Zeylanicum*) as a natural corrosion inhibitor in carbon steel. The method used to assess the efficiency of the oils was gravimetric (mass loss). Corrosion tests were performed in a corrosive medium of 1M HCl. The concentrations of both essential oils used were 0.5g/L, 1g/L, 2g/L, and 4g/L, over periods of 24 hours and 7 days. In the 24-hour period, the maximum concentration of the inhibitor used (4 g/L) achieved an efficiency of 97.7% in the HCl medium. After 7 days, the same concentration of 4 g/L reached an efficiency of 99.7%. Additionally, a linear relationship was observed between the increase in the inhibitor concentration and anticorrosive efficiency, indicating that higher concentrations may provide even more effective protection against corrosion. Therefore, the results indicate that cinnamon leaf essential oil is a favorable natural inhibitor for the protection of carbon steel-based materials, demonstrating high effectiveness in preventing corrosion.

Keywords: Corrosion inhibitors. Metallic materials. Mass loss. Inhibition efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos à base de Aço Carbono	18
Figura 2 - Corrosão uniforme no aço carbono.....	21
Figura 3 - Corrosão galvânica de aço carbono	22
Figura 4 - Corrosão por fresta de aço carbono	22
Figura 5 - Corrosão por pite de aço carbono	23
Figura 6 - Árvore de Canela (<i>Cinnamomum cassia</i>).	26
Figura 7 - Estrutura molecular dos principais componentes do óleo essencial da <i>Cinnamomum cassia</i>	27
Figura 8 - Corpos de provas preparados para o ensaio de corrosão.	29
Figura 9 - Óleo essencial da Folha de Canela	30
Figura 10 - HCl 1M como meio corrosivo	30
Figura 11 - Conjunto “Meio corrosivo + corpo de prova + óleo essencial.....	31
Figura 12 - Fluxograma do experimento de perda de massa.	32
Figura 13 - Gráficos de eficiência x concentração do óleo essencial da folha da canela (<i>Cinnamomum cassia</i>) no período de 24h e 7 dias em HCl	35
Figura 14 - Corpos de provas antes e depois do ensaio de corrosão. (A) Sem inibidor-24H; (B) Com o inibidor-24h; (C) sem inibidor- 7 dias; (D) Com inibidor- 7 dias.	37
Figura 15 - Gráfico de taxa de corrosão dos corpos de prova na ausência e presença do OE da folha da canela (<i>Cinnamomum cassia</i>).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de aço de acordo com o teor de carbono	19
Tabela 2 - Reagentes e materiais empregados nos experimentos de perda de massa.....	29
Tabela 3 - Eficiência do OE de <i>Cinnamomum Cassia</i> em meio corrosivo HCl 1M, em 24h. .	34
Tabela 4 -Eficiência do OE de <i>Cinnamomum cassia</i> em meio corrosivo HCl 1M, em 7 dias.	34

LISTA DE SIGLAS

$\mu\text{m}/\text{Y}$	Micrômetros por ano
Cm^2	Centímetro quadrado
E.I	Eficiência de inibição
g	Massa
g.L^{-1}	Massa por volume em litros
g/cm^3	Massa por centímetro cubico
g/L	Massa por volume em litros
h	Horas
M	Molar
mg	Miligrama
MM/Y	Milímetros por ano
Mn	Manganês
MPY	Mil por ano
$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
OE	Óleos essencial
PIB	Produto Interno Bruto
TC	Taxa de corrosão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA.....	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo Geral.....	17
3.2	Objetivo Específico	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1	Aço Carbono.....	18
4.2	Corrosão.....	20
4.3	Tipos de Corrosão	21
4.4	Mecanismos de Corrosão	23
4.5	Inibidores de Corrosão	24
4.6	Óleos Essenciais.....	25
4.7	Canela (<i>Cinnamomum Cassia</i>)	26
5	METODOLOGIA	29
5.1	Reagente e Materiais	29
5.1.1	Obtenção dos corpos de provas	29
5.1.2	Agente inibidor	29
5.1.3	Meio corrosivo	30
5.2	Ensaio da Perda de Massa.....	30
5.3	Cálculos da Taxa de Corrosão e Eficiência da Inibição.....	32
5.3.1	Taxa de corrosão.....	33
5.3.2	Eficiência de inibição – E.I (%)	32
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
6.1	Eficiência do Inibidor	34
6.2	Taxa de Corrosão	37
7	CONCLUSÃO	40

8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo espontâneo caracterizado por materiais metálicos ou não, quando exposto a ambientes corrosivos. Essa interação entre o material e o meio pode alterar propriedades essenciais do material, muitas vezes inviabilizando sua aplicação (Gentil, 2017). Ela é especialmente comum em materiais metálicos, sendo um processo natural que resulta no manuseio de peças e estruturas metálicas, causando gastos com manutenção, substituição de componentes, além de consequências como desgaste, perda de massa, alterações químicas, mudanças estruturais, contaminação de produtos, paralisações operacionais e, em casos graves, risco de acidentes fatais (Gentil, 2011).

Um exemplo notável é o aço carbono, que representa cerca de 90% da produção mundial de aço. Esse material é uma liga de ferro-carbono que pode conter outros elementos em menores concentrações. Existem vários tipos de aço com composições e tratamentos térmicos variados, sendo suas propriedades mecânicas sensíveis ao teor de carbono, geralmente inferiores a 1,00% (Callister, 2016).

Os danos causados pela corrosão impactam diversas áreas, gerando efeitos sociais, econômicos e ambientais. Estima-se que 25% da produção mundial de aço seja destinado a reparar danos decorrentes da corrosão, o que, além de agravar a economia, contribui para o consumo excessivo de recursos naturais e aumenta os impactos ambientais (Lacerda, 2015).

De acordo com a Organização Mundial da Corrosão (2022), a corrosão gera um custo global anual de aproximadamente US\$ 2,2 trilhões, o que representa cerca de 3% do PIB mundial. Pesquisas realizadas pela Nexa Resources (2020) apontam que cerca de 30% da produção global de ferro e aço é perdida devido à corrosão, o que equivale a uma faixa de 1 a 5% do PIB dos países., especificamente, a Nexa Resources (2020) destaca que, em 2019, foram gastos cerca de R\$ 290 bilhões, aproximadamente 4% do PIB nacional com a manutenção de materiais metálicos afetados pela corrosão. Esses números evidenciam a necessidade de soluções que reduzam a utilização de recursos naturais escassos e diminuam os impactos ambientais.

Dentre os métodos existentes destaca-se o uso dos inibidores de corrosão, substâncias que, ao serem adicionadas ao sistema, modificam a velocidade do processo corrosivo, podendo atuar na redução da velocidade das reações anódicas ou catódicas, na redução da velocidade de difusão dos reagentes até a superfície metálica ou na diminuição da resistência elétrica na superfície do metal (Alencar, 2013).

Os inibidores aplicados para prevenir à corrosão tem se destacado devido ao baixo custo e praticidade, uma vez que, quando aplicados em condições adequadas, estes elementos podem até mesmo eliminar o processo corrosivo (Sastri, 2011; Dariva; Galio, 2014). Sua atuação depende do tipo e da natureza dos inibidores, sendo utilizados em caldeiras, unidades de refinaria, banhos de decapagem ácida e refrigeração. As vantagens dos inibidores estar na facilidade de serem empregados em diversos meios corrosivos, normalmente em pequena concentração, sendo de fácil aplicação e fácil retirada do sistema, inclusive em equipamentos ou tubulações já em uso, sem atrapalhar ou modificar o processo.

Os inibidores corrosivos convencionais possuem elevada toxicidade contendo fosfatos, cromatos, acarretando danos ao meio ambiente e aos seres vivos (Negm *et al.* 2013). Portanto, é importante se estudar alternativas menos agressivas ao meio ambiente e aos seres vivos, fazendo dos inibidores verdes possibilidades promissoras por serem biodegradáveis e não conter metais pesados.

Nesse sentido, os inibidores naturais de corrosão surgem como uma alternativa sustentável. Extraídos de plantas por meio de processos simples e de baixo custo, esses inibidores representam uma fonte renovável de compostos biodegradáveis, graças à complexidade e à diversidade química presentes nesses materiais (Souza, 2018; Cunha; Aquino, 2018). Esses compostos atuam adsorvendo-se na superfície metálica, formando uma barreira protetora devido à presença de heteroátomos como oxigênio, nitrogênio e enxofre, que protegem os metais da degradação corrosiva (Valbon *et al.*, 2019).

Partindo desse pressuposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial anticorrosivo óleo essencial da folha da canela (*Cinnamomum cassia*) como agente inibidor de corrosão do aço carbono em meio corrosivo.

2 JUSTIFICATIVA

A deterioração de materiais metálicos é um problema importante em todo o mundo que afeta fortemente os ambientes naturais e industriais. Hoje, entende-se que a corrosão e a poluição são processos prejudiciais inter-relacionados, já que muitos poluentes aceleram a corrosão e produtos de corrosão, como a ferrugem, também poluem os corpos d'água. Ambos são processos perniciosos que prejudicam a qualidade do meio ambiente, a eficiência do setor e a durabilidade dos ativos de infraestrutura. Portanto, é essencial desenvolver e aplicar métodos e técnicas de controle de engenharia de corrosão (Ruy, 2022). O uso de inibidores de corrosão tem se destacado como uma das estratégias mais eficazes e comumente usadas para resolver esse problema. Mais importante, muitos dos inibidores convencionais são muito contra a saúde dos humanos e do meio ambiente. Essa preocupação os colocou a questionar sua aplicação.

Este problema direcionou a comunidade científica para opções mais sustentáveis e seguras. A pesquisa direcionou a atenção para identificar e formular compostos de baixo custo que não comprometam a integridade do meio ambiente. Sob esta luz, inibidores naturais, especialmente aqueles de óleos essenciais, podem ser percebidos como uma solução inovadora e promissora. Os inibidores são extraídos de diferentes partes da planta ou mesmo de materiais biodegradáveis - folhas, galhos, raízes e cascas.

Essas fontes, além de serem econômicas, não possuem metais pesados e outras impurezas que podem ser perigosas. Portanto, o uso de inibidores naturais revela a abordagem que integra a eficiência da proteção contra corrosão com a sensibilidade à saúde, bem como a conservação do ecossistema para não poluir o meio ambiente. Nesse sentido, a implementação de inibidores naturais pode ser considerada um pequeno, porém significativo, passo em direção a práticas industriais mais sustentáveis e perspicazes.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial anticorrosivo óleo essencial da folha da canela (*Cinnamomum cassia*) como agente inibidor de corrosão do aço carbono em meio corrosivo.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar a eficiência anticorrosiva em concentrações variadas do óleo essencial em ácido clorídrico 1M.
- Avaliar a influência do tempo de exposição do corpo de prova aos meios corrosivos no valor da eficiência anticorrosiva do óleo essencial.
- Analisar macroscopicamente a deterioração dos corpos de prova no meio corrosivo contendo o inibidor de corrosão.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Aço Carbono

O aço-carbono é um aço sem a adição proposital de outros elementos, contendo apenas o carbono (0,0 a 2,0%) e os quatro elementos residuais sempre encontrados nos aços e que permanecem em sua composição durante o processo de fabricação (Souza, 2006). Esses elementos residuais são o manganês, silício, fósforo e o enxofre e em geral seus teores não são maiores que 1,65% para o Mn, 0,30% para o Si, 0,040% para o P e 0,050% para o S.

Os aços-carbono são usados quando não existem requisitos de resistência mecânica e resistência à corrosão muito severa, ou quando a temperatura de utilização do aço não seja muito elevada. As vantagens de se utilizar os aços-carbono são os custos relativamente baixos e pouca exigência de tratamentos elaborados para a sua produção (Souza, 2006).

As propriedades mecânicas dos aços-carbono são afetadas, em princípio, por dois fatores: composição química e microestrutura. No que se refere à composição química, nos aços em que se processou a transformação total da austenita, o elemento predominante é o carbono que à medida que aumenta, melhora as propriedades relativas à resistência mecânica, isto é, o limite de escoamento, o limite da resistência à tração e a dureza e piora as propriedades relativas à ductilidade e à tenacidade, ou seja, o alongamento, a estrição e a resistência ao choque (Chiaverini, 2002).

Dentre os produtos metálicos fabricados (Figura 1), os a base de aço carbono são os mais empregados no ramo industrial para a produção de máquinas, equipamentos, estruturas, veículos automotores e componentes dos mais diversos tipos como: bombinhas, pregos, arames, placas, parafusos, dentre outros.

Figura 1 - Produtos à base de Aço Carbono.



Fonte: Gerdau, 2012.

Cada tipo de liga é produzido por meio de diferentes combinações e/ou tratamentos térmicos, aos quais são adicionados elementos como manganês (Mn), cobre (Cu), silício (Si), fósforo (P) e cromo (Cr). Esses elementos são incorporados para alterar as propriedades mecânicas, melhorar a usinabilidade, temperabilidade e capacidade de corte, conferir dureza em altas temperaturas, e aumentar a resistência ao desgaste, à corrosão e à oxidação, além de modificar as características elétricas e magnéticas (Chiaverini, 1986).

Sua classificação é baseada em diferentes critérios, incluindo a composição química, o processamento, a microestrutura e as propriedades físicas (Dolabella, 2016). De acordo com o critério de composição, os aços podem ser classificados com base na quantidade de carbono presente em sua estrutura. Eles se dividem em aços de baixo, médio e alto teor de carbono, dependendo da concentração de carbono utilizada em sua formação (Callister; Rethwisch, 2016). A Tabela 1 mostra a classificação do aço carbono de acordo com seu percentual de carbono.

Tabela 1 - Tipo de aço de acordo com o teor de carbono.

AÇO CARBONO	
BAIXO CARBONO	0,1 - 0,28%
MÉDIO CARBONO	0,25 - 0,60%
ALTO CARBONO	0,60 - 1,40%

Fonte: adaptado de Callister, 2016.

Os aços com baixo teor de carbono, também conhecidos como aço doce, contêm entre 0,1% e 0,28% de carbono. Eles possuem baixa resistência e dureza, mas alta tenacidade e ductilidade e se dividem em dois tipos: aços carbono comuns com baixo teor de carbono e aços carbono de alta resistência e baixa liga (Callister, 2016; Rethwisch, 2016).

O primeiro tipo é composto principalmente por C (0,10 – 0,31%), Cu ($\geq 0,20\%$) e Si (0,25%), sendo utilizado na produção de painéis de automóveis, pregos, arames, tubos, chapas e vasos de pressão para baixas temperaturas. O segundo tipo é constituído majoritariamente por C (0,18 – 0,28%), Mn (1,35 – 1,60%), Cu ($\geq 0,20\%$) e Si (0,30-0,60%), sendo aplicado em chassis de caminhões e vagões de trem, estruturas que precisam ser aparafusadas ou rebitadas, e estruturas usadas em baixas temperaturas (Oliveira, 2007).

Nos aços com médio teor de carbono, a concentração de carbono varia entre 0,25% e 0,60%. Eles podem ser tratados termicamente com a adição de molibdênio (0,15-0,30%), níquel (0,40-3,75%) e cromo (0,40-1,10%) para obter diferentes combinações de ductilidade e

resistência mecânica. Devido ao tratamento térmico, esses aços apresentam uma resistência mecânica superior à dos aços de baixo teor de carbono, embora tenham ductilidade e tenacidade inferiores. Por essas características, são usados em parafusos, talhadeiras, martelos, molas, facas, engrenagens, pistões, lâminas e componentes que exigem alta resistência mecânica (Callister, 2016; Rethwisch, 2016).

Os aços com alto teor de carbono contêm entre 0,60% e 1,40% de carbono. A alta concentração deste elemento resulta em elevada dureza e resistência mecânica, mas também os torna mais frágeis devido à baixa ductilidade (Sakamoto, 2018). Geralmente, eles incluem cromo, vanádio, tungstênio e molibdênio em sua composição, e são utilizados na fabricação de brocas, serras, lâminas de tesouras, ferramentas de ferreiro e marcenaria (Callister, 2016; Rethwisch, 2016).

4.2 Corrosão

Por definição, corrosão é a deterioração de um certo material exposto a um determinado meio corrosivo. Este ataque destrutivo do material, comumente em metais, pode ser proveniente de uma ação eletroquímica ou química. Sendo um fenômeno considerado de interface, a corrosão apresenta modificações prejudiciais e irreversíveis, como desgaste, variações químicas e até modificações estruturais. Embora a corrosão esteja sempre associada a materiais metálicos, ela também pode ocorrer em materiais poliméricos, não-metálicos, orgânicos e cerâmicos (Gentil, 2011; Roberge, 2000; Revie, 2011).

As consequências provenientes da corrosão são de importância mundial, pois apesar de ser um fenômeno comum em nosso dia a dia, seu impacto é imensurável, gerando desperdícios de recursos econômicos, reduções de eficiência e até perdas de equipamentos. Estima-se que um quarto da produção de aço é consumida pelo processo de corrosão (Landolt, 2007; Roberge, 2000; Revie, 2011).

Como já mencionado, os mecanismos de corrosão podem ser classificados em dois tipos: químico e eletroquímico. A corrosão química é definida por reações químicas diretas entre o substrato e o meio corrosivo. Neste processo, não há produção de corrente elétrica, ou seja, não há deslocamento de elétrons. Por vezes, o óxido formado durante o processo corrosivo pode servir de camada protetora do substrato, fazendo com que as etapas corrosivas subsequentes sejam evitadas, como é o caso do alumínio (Al) e do aço inoxidável (Gentil, 2011).

A corrosão eletroquímica, por sua vez, ocorre quando o substrato está em contato com um determinado eletrólito, podendo o mesmo estar solubilizado em água ou não. Neste mecanismo, elétrons são cedidos e recebidos em diversas regiões da superfície. Este processo

pode ser descrito por três etapas distintas, a saber: processo anódico, deslocamento de íons e elétrons e, por fim, processo catódico. De forma generalizada, o processo de oxirredução pode ser descrito pelas Equações (1) e (2) (Gentil, 2011):



Onde:

M: é um metal qualquer;

ne: é o número de elétrons cedidos para que ocorra a redução do íon

4.3 Tipos de Corrosão

Os tipos de corrosão são classificados com base em fatores como morfologia, causas ou mecanismos envolvidos, fatores mecânicos, meio corrosivo e localização do ataque. Essa classificação permite a aplicação mais eficiente de medidas de proteção. Nos materiais de aço carbono, os tipos de corrosão mais comumente encontrados incluem: corrosão uniforme, corrosão galvânica, corrosão por frestas e corrosão por pites (Gentil, 2017).

A Corrosão Uniforme (Figura 2) é um tipo de corrosão eletroquímica que ocorre de maneira uniforme em toda a superfície do material exposto ao meio corrosivo, resultando em uma camada de incrustação ou depósito e causando uma perda uniforme de espessura. Essa forma de corrosão é uma das mais fáceis de controlar, identificar e proteger. Exemplos comuns incluem a corrosão generalizada em aço e ferro, e o escurecimento de pratarias. Provavelmente, essa é a forma mais comum de corrosão.

Figura 2 - Corrosão uniforme no aço carbono.



Fonte: Sulcromo, 2023.

A Corrosão Galvânica (Figura 3) ocorre devido ao contato de diferentes materiais metálicos com distintos potenciais eletroquímicos na presença de uma solução condutora de elétrons. Isso resulta na transferência de elétrons do metal com maior potencial de oxidação para o metal com menor potencial. Quanto maior for a diferença de potencial entre os metais, mais intenso será o processo de corrosão (Leonor, 2017; Fernandes, 2017).

Figura 3 - Corrosão galvânica de aço carbono.



Fonte: Sulcromo, 2023.

A corrosão por fresta ou sob contato (Figura 4) ocorre em situações como soldagens mal executadas, chapas rebitadas e contato de materiais metálicos com materiais orgânicos. Nessas condições, formam-se produtos de corrosão que propiciam a geração diferencial e o acúmulo de substâncias oxidantes no material metálico. Esse tipo de corrosão é considerado grave devido à sua característica auto catalítica, uma vez que a acidificação do meio onde o material metálico está presente intensifica o processo (Oliveira, 2012).

Figura 4 - Corrosão por fresta de aço carbono.



Fonte: Sulcromo, 2023.

A corrosão por pite (Figura 5), também conhecida como corrosão puntiforme, ocorre em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica, formando cavidades com fundo anguloso e profundidade geralmente maior que o diâmetro da abertura (GENTIL, 2017). Esse tipo de corrosão é considerado grave, pois pode levar à rápida perfuração dos materiais afetados. Sua origem é a ruptura de um filme passivo presente no metal, frequentemente causado pela presença de cloretos ou pela passivação incompleta devido à ação dos íons brometo, cloreto e iodeto (Rocha, 2013).

Figura 5 - Corrosão por pite de aço carbono.

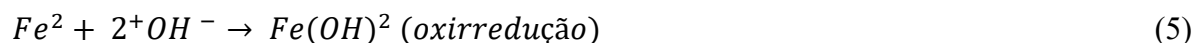


Fonte: Sulcromo, 2023.

4.4 Mecanismos de corrosão

O aço comum, mais conhecido como aço carbono, é constituído basicamente por ferro (Fe) e carbono (C) com pequenas porções de elementos como manganês (Mn) e silício (Si), os quais têm caráter de melhorar algumas propriedades mecânicas do aço. Este material é amplamente utilizado na indústria, pois fornece boa resistência mecânica e, principalmente, baixo custo de aquisição e fabricação. O aço carbono é um material termodinamicamente instável, ou seja, quando exposto em qualquer ambiente tende a se oxidar e formar um óxido conhecido como ferrugem (Roberge, 2000; Fazenda, 2005).

O mecanismo de corrosão do aço carbono é descrito pelas Equações (3), (4) e (5) quando o mesmo entra em contato com a água (H₂O) e oxigênio (O₂). Esta reação de oxirredução, em geral, resulta na formação de hidróxidos (Panossian, 1993; Gentil, 2011).



O meio em que o ferro está inserido possui moléculas de água, geralmente provenientes da umidade do ar, e moléculas de oxigênio como já mencionado. Dessa forma, o hidróxido ferroso já formado, posteriormente irá reagir com essas moléculas e formar o hidróxido férrico, conforme a Equação (6) descrita a seguir (Panossian, 1993).



O hidróxido férrico formado na superfície do substrato de aço carbono é totalmente o oposto dos filmes superprotetores, que é o caso dos aços-inoxidáveis e do alumínio, os quais produzem um óxido insolúvel nas condições de exposição natural. O óxido formado, conhecido como ferrugem, é descontínuo, permeável e com crescimento desordenado que ocorre até consumir totalmente o substrato. Com isto, é necessário realizar a aplicação de um revestimento que proteja o aço carbono contra o ambiente corrosivo (Gentil, 2011; Panossian, 1993).

4.5 Inibidores de corrosão

Inibidores de corrosão são adotados na indústria por sua finalidade em prevenir ou minimizar processos corrosivos. Esse inibidor é uma substância ou mistura de substâncias, que em concentrações adequadas, no meio corrosivo, possibilitam a redução da corrosão (Gentil, 2011). São classificados quanto a sua composição (orgânicos ou inorgânicos) e quanto ao seu comportamento (oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção). Os inibidores orgânicos funcionam através da dessorção na superfície do metal, bloqueando os sítios ativos, deslocando as moléculas de água e formando um filme de barreira compacto para diminuir a taxa de corrosão (Solmaz *et al.*, 2008).

A toxicidade dos inibidores convencionais que apresentam características favoráveis a adsorção, tornou-se uma preocupação, pois podem causar danos ambientais por apresentarem cromatos, fosfatos, silicatos (Negm *et al.*, 2013). Compostos orgânicos que contém enxofre, nitrogênio, podem causar danos permanentes ou temporários aos seres vivos, afetando o fígado, os rins, e, os que contém cromo são cancerígenos (Jacby *et al.*, 2018). Unem-se a essas adversidades, as crescentes regulamentações ambientais, obrigando as empresas exploradoras o emprego de compostos menos danosos e compatíveis com o meio de atuação. Em função disso, há uma necessidade de alternativas inibitórias que contenham a mesma função de um inibidor convencional, mas ambientalmente e ecologicamente aceitáveis.

Os inibidores de corrosão naturais podem ser orgânicos ou inorgânicos. Eles são extraídos a partir de extratos de sementes, frutos, folhas, casca de frutas. Os inibidores de

corrosão verde são biodegradáveis, renováveis e não contêm metais pesados ou outros compostos tóxicos (Rani *et al.*, 2012). O manuseio seguro, também é uma característica desses inibidores; os extratos vegetais usados nesse tipo de inibidor costumam apresentar um menor custo podendo ser obtidos por extração de forma simples (El-etre, 2008).

4.6 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são definidos como substâncias aromáticas produzidas por plantas que geralmente pertencem às famílias angiospérmicas, sendo utilizados para diferentes fins em diversas indústrias (Pavela, 2015). Os óleos essenciais podem estar estocados em certos órgãos, tais como flores, folhas, cascas, madeira raízes, rizomas, frutos ou sementes. Embora todos os órgãos de uma planta possam acumular óleos essenciais, sua composição pode variar segundo a localização (Simões *et al.*, 2007).

Essas propriedades são atribuídas aos diversos compostos químicos voláteis, tais como, os ácidos, aldeídos e terpenos, possuindo assim, grande importância por serem considerados compostos altamente bioativos, também denominados fitoalexinas (Almeida, 2015). Além destes, existem os terpenos e fenilpropanóides que são sintetizados por espécies vegetais que podem apresentar propriedades inseticidas e/ou atrativas (alimentação e polinização e alimentação) (Voris *et al.*, 2017).

Os óleos essenciais ou óleos voláteis, óleos etéreos ou essências, quimicamente, se diferem dos óleos vegetais e dos minerais, pois, são misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas de terpenos e compostos oxigenados junto com outros tipos de substâncias (Simões *et al.*, 2007). Quanto ao, os vegetais são ésteres da glicerina com ácidos graxos de cadeias longas e os minerais são parafinas líquidas misturadas a outros hidrocarbonetos.

As características físico-químicas que esses óleos essenciais (OEs) podem apresentar são: a aparência oleosa, aroma, densidade e viscosidade, além de serem líquidos voláteis e solúveis em solventes apolares, como o éter. No entanto, em água, eles apresentam solubilidade limitada, mas o suficiente para aromatizar soluções aquosas denominadas de hidrolatos (Teles, 2003).

Os métodos de extração dos óleos essenciais variam de acordo com a região em que a planta é cultivada. De acordo com o autor Mouchrek (2000), os mais comuns são de enfloração, arraste de vapor d'água, extração com solventes orgânicos, prensagem e extração por CO₂ supercrítico. (Mouchrek, 2000).

No método por arraste de vapor, o material vegetal é colocado em um balão de hidrodestilação, a certa distância do fundo do extrator. A água entra em ebulição no seu estado puro, o vapor percorre o material arrastando somente o óleo e segue na condensação e separação como na hidrodestilação (Silva *et al.*, 2010).

Na hidrodestilação o material a ser destilado fica em contato direto com a água, e quando esta entra em ebulição, arrasta os compostos voláteis consigo inclusive o óleo, e quando condensa, forma uma mistura heterogênea, com duas fases, devido à diferença de polaridade e densidade entre a água e o óleo. (Oliveira *et al* Souza, 2012).

Quanto aos constituintes químicos dos óleos essenciais, segundo o autor Simões e seus colaboradores, variam de hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples, aldeídos, cetonas, éteres, fenóis, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas até compostos contendo enxofre, tendo na mistura, diferentes concentrações (Simões *et al*, 2007).

4.7 Canela (*Cinnamomum Cassia*)

Considerada uma das especiarias mais antigas, a canela é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais do planeta, como ilustrado na Figura 6. Trata-se de uma árvore perene, que pode atingir entre 8 e 17 metros de altura, com flores e cascatas intensamente aromáticas. Seu nome científico é *Cinnamomum cassia*, pertencente à família Lauráceas. O óleo essencial extraído da casca e das folhas da canela apresenta diversas propriedades medicinais, incluindo ação antiespasmódica, anti-inflamatória, antibacteriana, antisséptica, anti-hipertensiva e inseticida (Costa, 2019; Morgado, 2023).

Figura 6 - Árvore de Canela (*Cinnamomum cassia*).



Fonte: Leandra, 2011.

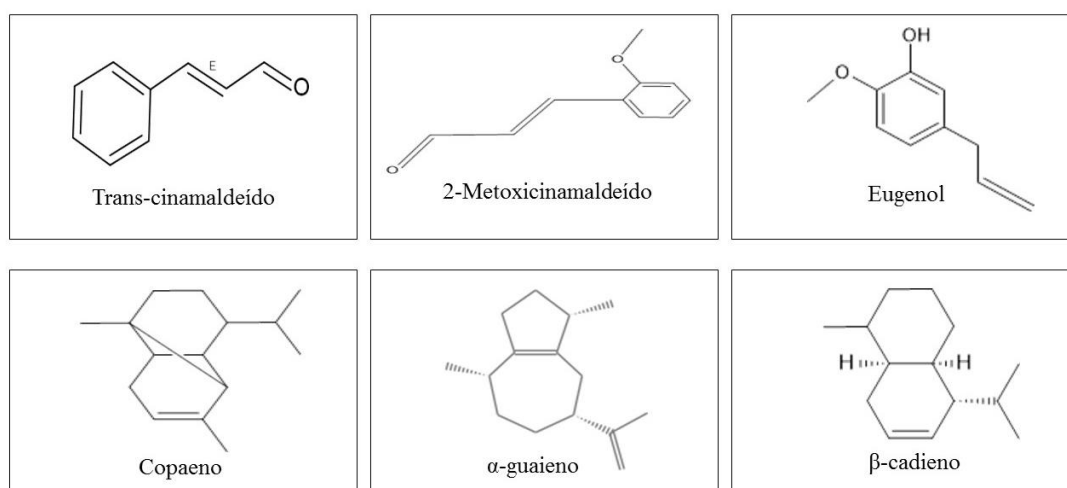
Muitas propriedades biológicas têm sido estudadas e atribuídas à canela, como antioxidantes (Jayaprakasha *et al.*, 2003; Mathew & Abraham, 2006), antimicrobianas (Chao *et al.*, 2000; Jham *et al.*, 2005; Matan *et al.*, 2006; Freire, 2008; Singh *et al.*, 2007), anti-

hipertensiva (Agra *et al.*, 2007) e muitos estudos passaram a relatar o possível efeito hipoglicemiante dos compostos fenólicos dessa planta (Subash Babua *et al.*, 2007; Cao *et al.*, 2007).

O óleo essencial da canela pode ser obtido tanto das cascas como das folhas, mas a composição dos dois é completamente distinta. O óleo obtido da casca é utilizado na aromatização de alimentos, ao passo que o das folhas, na cosmética e na aromaterapia (Grossman, 2005).

Koketsu *et al.* (1997) encontraram no óleo essencial da casca aldeído cinâmico (55%), seguido do eugenol (12%). Ao analisar as folhas da canela, encontraram o eugenol (94%) como composto majoritário e traços de aldeído cinâmico (1%). Freire (2008) encontrou, no óleo essencial da casca, aldeído cinâmico na proporção de 87,70%, seguido de β e α -pineno. A Figura 7 mostra os principais componentes do óleo essencial da canela.

Figura 7 -Estrutura molecular dos principais componentes do óleo essencial da *Cinnamomum cassia*.



Fonte: Adaptado de Li *et al.*, 2021.

Em relação à composição de *Cinnamomum cassia*, alguns estudos apontam que há uma diferença na composição química em seus óleos essenciais dependendo de qual parte da planta vai ser extraída, a exemplo, o óleo essencial da casca é rico em cinamaldeído (Vangalapati *et al.*, 2012), constituinte responsável pelo aroma e gosto característico da canela (Gomes *et al.*, 2019), e suas folhas ricas em eugenol (Joshi, 2019), no entanto esses constituintes majoritários podem variar.

Nath, Pathak e Baruah (1996), encontraram benzoato de benzila como constituintes principais dos óleos das cascas e das folhas de *C. verum*. Rao, Rajput e Bhattacharya (2007) estudaram a composição química do pecíolo de *C. verum* encontraram E-Cinamaldeído e

eugenol como constituintes principais. Acetato de E-Cinamia e E-Cariofileno foram os majoritários nos óleos essenciais dos frutos (Jayaprakasha, Rao, Sakariah, 1998). A composição química dos óleos essenciais varia entre espécies e partes do vegetal, do qual vai ser extraído (Miranda *et al.*, 2016). De acordo com Moraes (2009), a composição química dos óleos essenciais é determinada por fatores genéticos, contudo outros fatores como idade e estágio de desenvolvimento do vegetal, luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição, época e horário de coleta, bem como técnicas de colheita e pós-colheita podem levar a alterações significativas na produção e na composição química desses metabólitos secundários.

5 METODOLOGIA

5.1 Reagente e Materiais

Os experimentos de perda de massa foram realizados utilizando os reagentes listados na Tabela 2. Todos os reagentes foram usados em suas formas originais, sem qualquer etapa prévia de purificação.

Tabela 2 - Reagentes e materiais empregados nos experimentos de perda de massa.

Reagentes e Materiais	Origem
Óleo essencial da folha da canela (<i>Cinnamomum cassia</i>)	Terra-Flor®
Ácido clorídrico P.A. 37%	NEON
Ácido Acético Glacial 100%	Êxodo Científica
Chapa de aço-Carbono	Aço Cearense ®

Fonte: Autora, 2025.

5.1.1 Obtenção dos corpos de provas

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de chapa de aço-carbono, mostrados na Figura 8, os quais foram cortados com auxílio de um alicate em dimensões padronizadas de 2 cm x 2 cm, apresentaram uma área superficial total de 8,78 cm².

Figura 8 - Corpos de provas preparados para o ensaio de corrosão.



Fonte: Autora, 2025.

5.1.2 Agente inibidor

Como inibidor, foi utilizado o óleo essencial da folha de canela, de origem comercial, sendo este da marca Terra Flor Aromaterapia, extraído por destilação a vapor, conforme exibido na Figura 9.

Figura 9 - Óleo essencial da Folha de Canela.



Fonte: Autora, 2025.

5.1.3 Meio corrosivo

Foi utilizado como meio corrosivo o Ácido clorídrico com diluição para 1 mol/L (Figura 10). Da solução, foi retirada uma alíquota de 100 mL e fornecida para os recipientes contendo os óleos.

Figura 10 -HCl 1M como meio corrosivo.



Fonte: Autora, 2025.

5.2 ENSAIO DA PERDA DE MASSA

A determinação da perda de massa possibilita o cálculo da taxa de corrosão, permitindo avaliar a intensidade do processo corrosivo e estimar o desgaste do material metálico em um determinado meio. O sistema de trabalho adotado foi composto pelo conjunto "meio corrosivo + corpo de prova + óleo essencial" (Figura 11). Esse sistema foi utilizado para determinar a eficiência de inibição anticorrosiva dos óleos essenciais da folha de canela. A análise foi realizada por meio do experimento de perda de massa dos corpos de prova de aço carbono, considerando períodos de exposição de 24 horas e 7 dias.

Figura 11 -Conjunto “Meio corrosivo + corpo de prova + óleo essencial”.

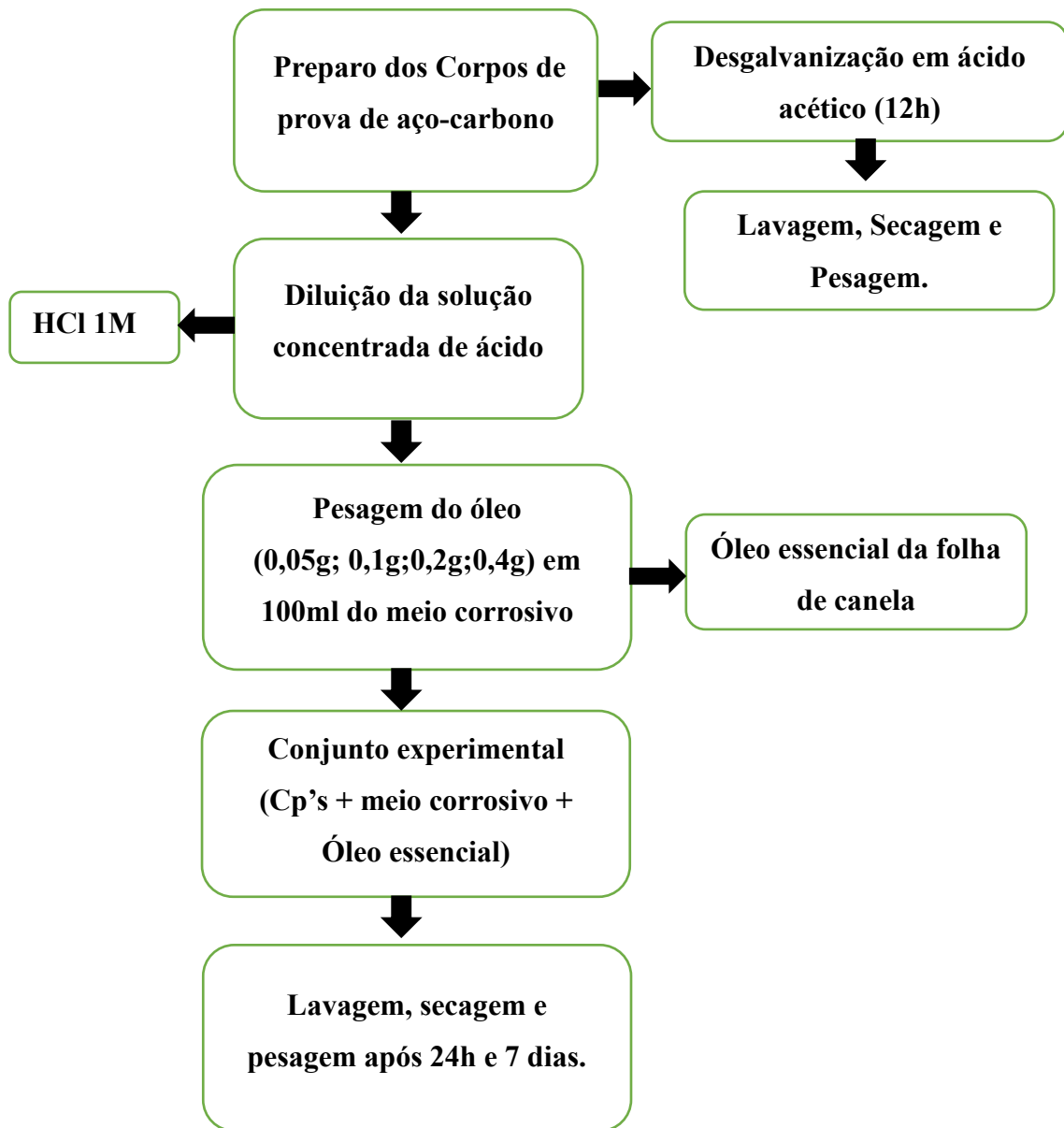


Fonte: Autora, 2025.

Para os ensaios de perda de massa, os corpos de prova foram inicialmente desgalvanizados em uma solução de ácido acético a 10% por um período de 12 horas, a fim de facilitar o processo corrosivo do material. Em seguida, foram lavados com água destilada até a completa remoção dos resíduos de ácido acético e secos em estufa a 80°C por 30 minutos. Após a secagem, os corpos de prova foram devidamente identificados e pesados em uma balança analítica da marca Chyo, modelo JK-200.

Com o auxílio de uma balança analítica, foram pesadas as massas de 0,05 g, 0,1 g, 0,2 g e 0,4 g do óleo essencial da folha de canela, sendo cada uma inserida em um béquer de 100 mL. As pesagens foram realizadas em triplicata, utilizando a mesma balança analítica, para cada 100 mL de meio corrosivo nos períodos de exposição de 24 horas e 7 dias. Posteriormente, foi utilizado o meio corrosivo HCl 1M, nos sistemas de trabalho. Além disso, foram preparadas triplicatas dos sistemas em branco, que consistem no meio corrosivo sem a adição do óleo essencial, para controle comparativo. Após os tempos estimados, os corpos de prova foram retirados dos meios de trabalho, lavados com água destilada, secados em estufa a 80°C e pesados novamente em balança analítica. O fluxograma da Figura 12 apresenta o esquema envolvido nos ensaios gravimétricos de perda de massa.

Figura 12 -Fluxograma do experimento de perda de massa.



Fonte: Autora, 2025.

5.3 CÁLCULOS DA EFICIÊNCIA DA INIBIÇÃO E DA TAXA DE CORROSÃO

5.3.1 Eficiência de Inibição – E.I (%).

Com a massa final e inicial dos corpos de prova, calculou-se a eficiência de inibição E.I (%), dada pela equação (9):

$$E. i(\%) = \left(\frac{M_B - M_I}{M_B} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde:

E.I = eficiência do inibidor;

M_B = perda de massa do corpo de prova se;

M_I = perda de massa do corpo de prova com o inibidor.

5.3.2 Taxa de corrosão

Para calcular a taxa de corrosão (TC) dos agentes corrosivos sobre o corpo de prova foi utilizada as equações (7) e (8):

$$TC = \left(\frac{mg}{cm^2h} \right) = \frac{\Delta m}{A \cdot t} \quad (7)$$

$$TC = \left(\frac{mm}{ano} \right) = 87,6 \frac{\Delta m}{D \cdot A \cdot t} \quad (8)$$

Onde:

Δm (mg) é a diferença do peso do cp's antes e depois da imersão na solução teste;

A: é a área do corpo de prova (cm^2);

t: é o tempo de exposição em horas (h);

D: é a densidade do metal em g/cm^3 ($\sim 7,8 g/cm^3$);

87,6 é o fator de conversão.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 EFICIÊNCIA DO INIBIDOR

A eficiência do óleo essencial da folha de canela em solução de HCl foi avaliada por meio de ensaios gravimétricos de perda de massa, utilizando ácido clorídrico a 1 M como meio corrosivo. O experimento foi realizado tanto na ausência de inibidor de corrosão quanto na presença, variando o tempo e concentração do óleo essencial. A Tabela 3, apresenta a eficiência de proteção do óleo essencial para o tempo de 24 horas em diferentes concentrações.

Tabela 3 - Eficiência do OE da folha de canela em meio corrosivo HCl 1M no período de 24H.

CONC. DO ÓLEO	DESVIO PADRÃO	EFICIÊNCIA (%)
0,0	2,446998	-
0,5 g/L	1,838423	86,6%
1 g/L	0,619429	94,3%
2 g/L	2,087439	95,8%
4 g/L	2,987958	97,7%

Fonte: Autora 2025.

Conforme observado na Tabela 4, a eficiência de proteção do óleo essencial da folha de canela em 24 horas apresenta uma relação proporcional com a sua concentração no sistema de trabalho. A concentração de 0,5 g/L mostrou uma eficiência de 86,6% na proteção contra a corrosão do aço-carbono, aumentando para 97,7% na concentração de 4 g/L. Esses resultados indicam que a adição do óleo contribui significativamente para a redução da perda de massa, evidenciando seu potencial como inibidor de corrosão para o aço-carbono.

A Tabela 4 apresenta a eficiência de proteção do óleo essencial para o período de 7 dias e as diferentes concentrações.

Tabela 4 - Eficiência do OE da folha de canela em meio corrosivo HCl 1M no período de 7 dias.

CONC. DO ÓLEO	DESVIO PADRÃO	EFICIÊNCIA (%)
0,0	3,672380	-
0,5 g/L	1,313427	97,7%
1 g/L	0,505594	98,7%
2 g/L	0,882322	98,9%
4 g/L	0,561575	99,7%

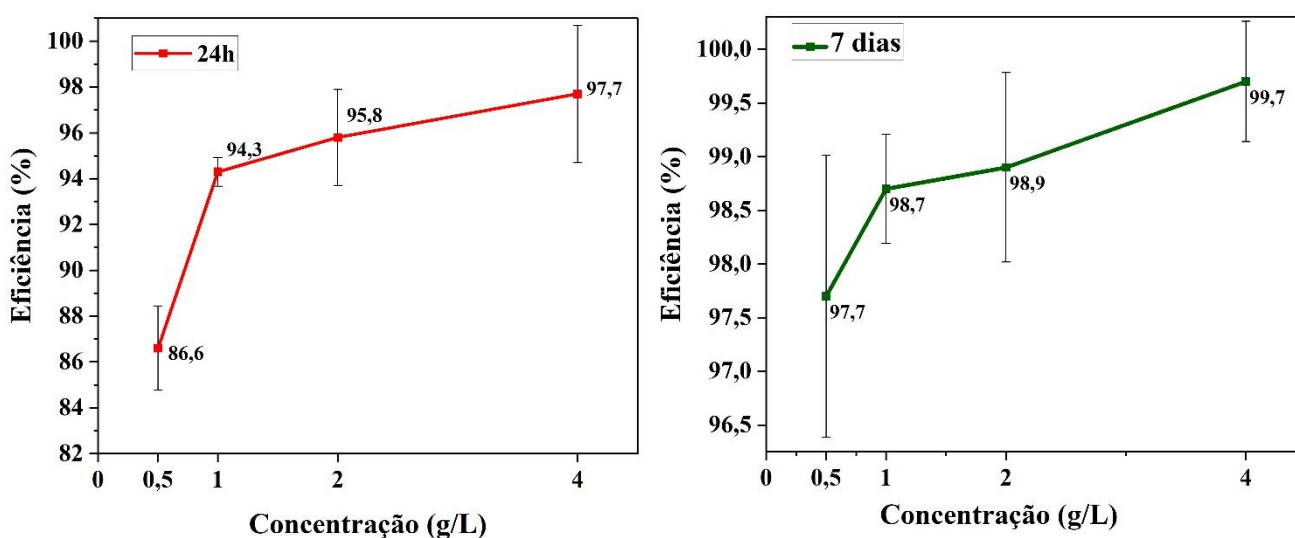
Fonte: Autora 2025.

Observa-se que a eficiência de proteção contra corrosão ao longo de 7 dias segue uma tendência crescente conforme o aumento da concentração do óleo essencial. A concentração de

0,5 g/L apresentou uma eficiência de 97,7%, aumentando para 98,9% na concentração de 2 g/L e alcançando um máximo de 99,7% para 4 g/L. Esses resultados indicam uma alta eficácia do óleo essencial na prevenção da corrosão, demonstrando seu potencial como agente protetor para o aço-carbono ao longo do tempo.

A Figura 13, apresenta os gráficos da eficiência em relação a concentração do óleo essencial nos períodos de 24h e 7 dias em meio corrosivo HCl 1M.

Figura 13 -Gráficos de eficiência x concentração do óleo essencial da folha da canela (*Cinnamomum cassia*) no período de 24h e 7 dias em HCl.



Fonte: Autora, 2025.

Com base nas análises realizadas, constatou-se que, para o período de 24 horas, a maior eficiência do óleo essencial da folha de canela foi observada na concentração de 4 g/L, atingindo 97,7%. As concentrações de 1 g/L e 2 g/L também apresentaram elevada eficiência, ambas superiores a 90%, enquanto a concentração de 0,5 g/L obteve uma eficiência inferior, de 86,6%.

Já no período de 7 dias, a concentração de 4 g/L novamente apresentou o melhor desempenho, alcançando 99,7%, valor muito próximo da eficiência máxima possível (100%). As concentrações de 1 g/L e 2 g/L apresentaram eficiência semelhante, em torno de 98% cada, enquanto a concentração de 0,5 g/L atingiu 97%, sendo a menor eficiência registrada para esse período.

Houve variações significativas entre as eficiências em ambos os períodos analisados. No intervalo de 24 horas, a diferença entre a menor eficiência (0,5 g/L) e as concentrações de 1 g/L e 2 g/L foi de aproximadamente 9,2%, enquanto a variação entre 2 g/L e 4 g/L foi de

2,7%. No período de 7 dias, as diferenças foram mais suaves, com uma variação de apenas 2% entre as concentrações de 0,5 g/L e 4 g/L.

De forma geral, os resultados demonstram que o desempenho do óleo essencial se manteve praticamente constante ao longo dos dois períodos avaliados. Destaca-se que as maiores concentrações forneceram os melhores valores de eficiência, tanto em 24 horas quanto em 7 dias.

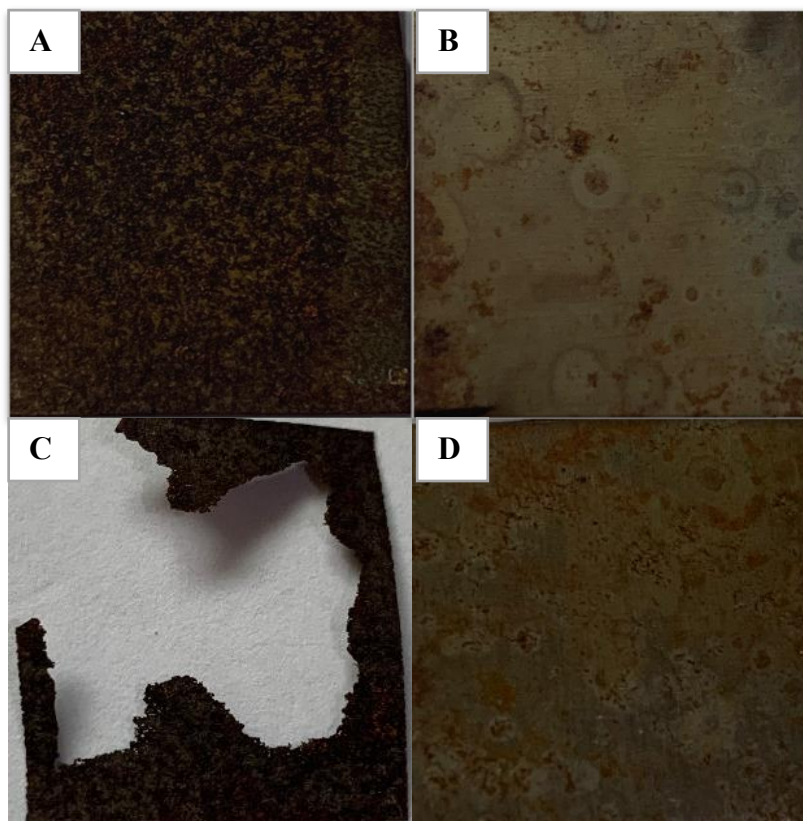
Esses resultados estão em concordância com os dados apresentados por Lima (2022), que empregou o óleo essencial da espécie *Cinnamomum cassia* e obteve uma eficiência de 95,34% em 24 horas, com uma concentração de 2,5 g/L, além de uma eficiência de 99,33% após 7 dias, mantendo a mesma concentração. Resultados semelhantes foram relatados por Loto (2020), que, por meio do método potenciométrico, registrou uma eficiência de inibição de 97,69% em meio de 0,5 M HCl para uma mistura de óleo essencial de alecrim e óleo essencial de *Cinnamomum cassia*.

Além disso, Hossain *et al.* utilizaram cinamaldeído, extraído do óleo essencial de canela, como inibidor verde para a corrosão do aço em meio de 10% HCl, observando uma eficiência de inibição de 95,36% para uma concentração de 0,2 g/L, com base em experimentos de perda de massa. Esses achados reforçam a hipótese de que o cinamaldeído é o principal componente responsável pela ação inibidora da corrosão.

Nossos estudos reforçam diversas pesquisas que investigaram inibidores naturais, sustentáveis e ecológicos para a corrosão de metais, como aço e cobre, em meio ácido. Além do mais, observa-se que o aumento da concentração do óleo essencial utilizado está diretamente relacionado a um maior efeito anticorrosivo nas condições avaliadas.

A seguir, a Figura 14 demonstra o estado dos corpos de prova antes e após o ensaio de corrosão em HCl 1M com e sem a adição óleo essencial da folha de canela.

Figura 14 - Corpos de provas antes e depois do ensaio de corrosão. (A) Sem inibidor-24H; (B) Com o inibidor-24h- (4g/L); (C) sem inibidor- 7 dias; (D) Com inibidor- 7 dias- (4g/L).

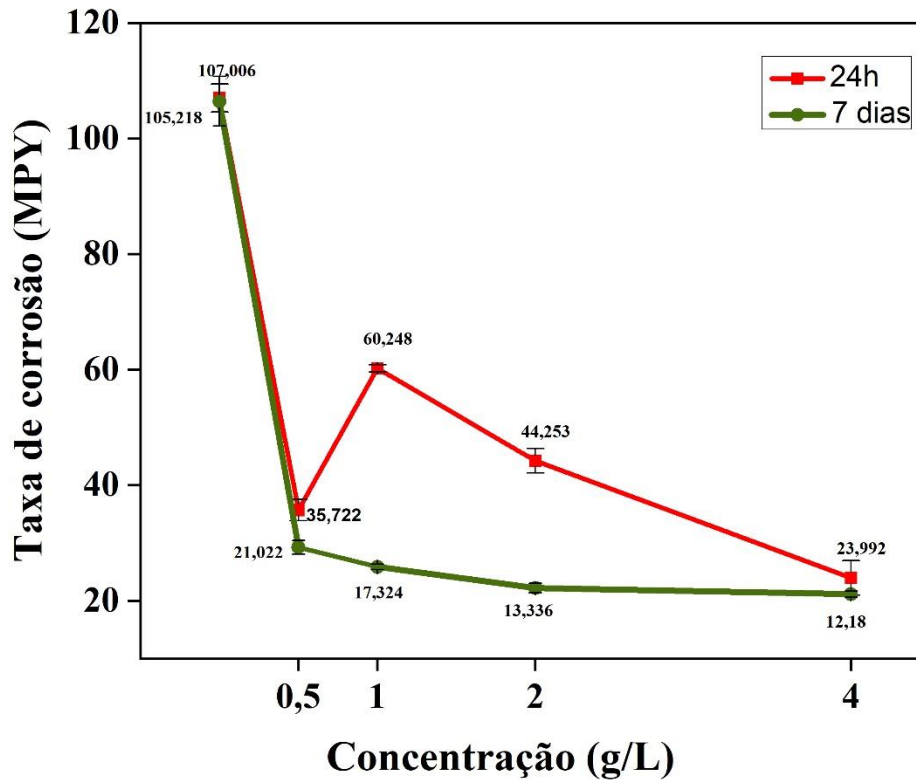


Fonte: Autora, 2025.

6.2 Taxa de corrosão

Os valores da taxa de corrosão foram calculados com base nos seguintes parâmetros: área do corpo de prova (cm^2), densidade do aço carbono (g/cm^3), perda de peso (mg) e tempo de exposição da amostra metálica (horas). A taxa de corrosão é expressa em MPY (mils por ano), equivalente a $0,0254 \text{ MM}/\text{Y}$ (milímetros por ano) ou $25,4 \mu\text{m}/\text{Y}$ (micrômetros por ano). Abaixo a Figura 15, apresenta o gráfico da taxa de corrosão contendo os dados em relação a concentração do óleo essencial em períodos de 24h e 7 dias em meio corrosivo HCl 1M.

Figura 15 - Gráfico de taxa de corrosão dos corpos de prova na ausência e presença do OE da folha da canela (*Cinnamomum Cassia*).



Fonte: Autora, 2025.

Após a análise do gráfico apresentado para o intervalo de 24 horas, observa-se que a taxa de corrosão (Figura 15) foi influenciada pela concentração do inibidor. Inicialmente, com 0,5 g/L de inibidor, houve uma redução significativa da taxa de corrosão, diminuindo de 105,218 MPY (sem inibidor) para cerca de 35,722 MPY. No entanto, na concentração de 1 g/L, observou-se um aumento leve na taxa de corrosão, atingindo aproximadamente 60,248 MPY totalizando uma variação de 24,526 MPY, isso pode ser ocasionado por diversos fatores como adsorção do óleo essencial, ou erros comuns na hora da experimentação. Posteriormente, as concentrações de 2 g/L e 4 g/L voltaram a reduzir a taxa de corrosão, alcançando valores de cerca de 44,253 MPY e 23,992 MPY, respectivamente.

Por outro lado, ao considerar o período de 7 dias, constatou-se uma redução mais acentuada e consistente da taxa de corrosão em todas as concentrações testadas. Sem a adição de inibidor, a taxa inicial foi de aproximadamente 105,218 MPY. Com a concentração de 0,5 g/L, houve uma redução expressiva para cerca de 21,022 MPY. Nas concentrações (1 g/L, 2 g/L

e 4 g/L), a taxa de corrosão permaneceu em níveis baixos e praticamente constantes, variando entre 17,324 MPY e 12 MPY, evidenciando a eficiência do inibidor ao longo do tempo.

Ao compararmos os valores da taxa de corrosão do aço-carbono na ausência e presença do óleo essencial da folha de canela com os dados obtidos por Monteiro (2023), que estudou o óleo essencial de *Eugenia caryophyllus* em solução de HCl 1M durante 24 horas e 7 dias, observamos uma tendência semelhante de redução da corrosão. No estudo de Monteiro, a taxa de corrosão inicialmente foi de 215,7180 MPY (sem inibidor), diminuindo para 26,7908 MPY na concentração de 4 g/L após 24 horas. Já no período de 7 dias, a taxa inicial de 259,6380 MPY reduziu para 10,8466 MPY na mesma concentração.

Esse comportamento pode ser atribuído à adsorção do óleo essencial na superfície do aço-carbono. Ao entrar em contato com o corpo de prova, os compostos presentes no óleo formam uma camada protetora, bloqueando os sítios ativos de reação e minimizando a ação dos íons agressivos do ácido, reduzindo assim os danos à superfície do metal (Monteiro, 2023).

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que o óleo essencial da folha de canela (*Cinnamomum cassia*) apresentou excelente eficácia na prevenção da corrosão em meio ácido (HCl), alcançando uma eficiência de até 97,7% na concentração de 4 g/L após 24 horas e 99,7% após 7 dias. Observe-se que os taxa de corrosão diminuíram à medida que a concentração do óleo essencial aumentou, destacando seu elevado potencial como inibidor de corrosão, especialmente em concentrações mais elevadas e ao longo do tempo.

Os dados demonstram que a eficácia do óleo essencial ocorre estável nos dois períodos avaliados, com as maiores concentrações resultando nos melhores índices de eficiência, tanto após 24 horas quanto após 7 dias. Esses achados reforçam sua capacidade de atuar como um potente inibidor de corrosão em diferentes intervalos de tempo.

Diante dos resultados, conclui-se que o óleo essencial da folha de canela (*Cinnamomum cassia*) mostrou um inibidor natural de corrosão altamente eficaz. Estudos futuros, explorando concentrações mais elevadas e novas variáveis, podem ampliar ainda mais o conhecimento sobre seu potencial, favorecendo sua aplicação em processos industriais e comerciais.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, algumas sugestões para pesquisas futuras podem ser apresentadas, tais como:

- Avaliar a eficiência dos óleos essenciais de *Cinnamomum cassia* e em outros meios corrosivos.
- Avaliar a influência da temperatura, pH, pressão, intervalos de tempo maiores e dosagem de inibidor na eficiência contra corrosão.
- Realizar análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nos corpos de prova;
- Realizar teste eletroquímicos (Curvas de polarização) nos corpos de prova.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M.; ALTASS, H. M.; AL-GORAIR, A. S.; AL-FAHEMI, J. H.; JAHDALY, B. A. A. L.; SOLIMAN, K. A. **Natural nutmeg oil as a green corrosion inhibitor for carbon steel in 1.0 M HCl solution: Chemical, electrochemical, and computational methods.** *J. Mol. Liq.* 2021, 323, No. 115036.
- AHMED, M. H. O., AL-AMIERY, A. A., AL-MAJEDY, Y. K., KADHUM, A. A. H., MOHAMAD, A. B., & GAAZ, T. S. (2018). **Synthesis and characterization of a novel organic corrosion inhibitor for mild steel in 1 M hydrochloric acid.** *Results in Physics*, 8, 728-733.c
- ALMEIDA, J. C; ALMEIDA, P. P; GHERARDI, S. R. M. **Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018.** *Nutritime Revista Eletrônica*, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 8623-8633, 2020.
- ALMEIDA, M. P.; ROMERO, R. B., ROMERO, A. L.; CRESPIAN, E. R. **Explorando a química e a atividade antifúngica de óleos essenciais: Uma proposta de projeto para a Educação Básica.** *Latin American Journal of Science Education*, v. 2, 2015.
- BERDIMURODOV, E., et al.: **Novel gossypol–indole modification as a green corrosion inhibitor for low–carbon steel in aggressive alkaline– saline solution.** *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Aspects* 235, 128207 (2022).
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das ligas metálicas.** São Paulo: ABM, 2003.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- DAGDAG, O., et al.: **Recent progress in epoxy resins as corrosion inhibitors: design and performance.** *J. Adhes. Sci. Technol.* 21,1–22 (2022).
- DEGHANI, A., et al.: **Potential role of a novel green eco-friendly inhibitor in corrosion inhibition of mild steel in HCl solution: detailed macro/micro-scale experimental and computational explorations.** *Constr. Build. Mater.* 245, 118464 (2020) edição, tradução de Horácio Macedo, Luiza M. Barbosa e Paulo Emídio de F. Barbosa.
- EL-ETRE, A. Y. **Inhibition of C-steel corrosion in acidic solution using the aqueous extract of zallouh root.** *Materials Chemistry and Physics*, v. 108, p. 278–282, 2008.
- GEROSO, R, L. **mecanismo de corrosão.** Disponível em: <:https:// ruyalexandre.zzl.org /arquivos/engecormeccor.pdf>. Acesso em: 07 de dezembro de 2024.
- GENTIL, V. **Corrosão.** 3 ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2011.
- GENTIL, V. **Corrosão.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

GOMES, P. R. B. et al. **Avaliação da toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial *Cinnamomum zeylanicum* Blume. contra o caramujo *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818).** Revista Colombiana de Ciências Químico Farmacêuticas, v. 48, n. 1, p. 112-127, 2019.

GOYAL, M., KUMAR, S., BAHADUR, I., VERMA, C., & EBENSO, E. E. (2018). **Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: A review.** *Journal of Molecular Liquids*, 256, 565-573.

HALDHAR, R., et al.: **Evaluation of *Gloriosa superba* seeds extract as corrosion inhibition for low carbon steel in sulfuric acid medium: a combined experimental and computational studies.** *J. Mol. Liq.* 323, 114958 (2021).

Hossain, S. M. Z.; Al-Shater, A.; Kareem, S. A.; Salman, A.; Ali, R. A.; Ezuber, H.; Hossain, M. M.; Razzak, S. A. **Cinnamaldehyde as a Green Inhibitor in Mitigating AISI 1015 Carbon Steel Corrosion in HCl.** *Arab. J. Sci. Eng.* 2019, 44 (6), 5489–5499.

JACBY, B.C.; SILVA, T.E.P.; LIMA FILHO, N.M.; MEDEIROS, E.B.M. **Avaliação de inibidores de corrosão para aço carbono 1020 em meio ácido,** XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo, setembro de 2018.

JAYAPRAKASHA, G. K.; RAO, L.J.; SAKARIAH, K. K. **Chemical composition of the volatile oil from the fruits of *Cinnamomum zeylanicum* Blume.** *Flavour and Fragrance Journal*, v.12, n. 5, p. 331-333, 1998.

JOSHI, R. K. **Chemical disparity in the oil from leaves of *Cinnamomum zeylanicum* Blume.** *Flavour and Fragrance Journal*, v. 34, n. 6, p. 443-449, 2019.

KOKETSU, M. et al. **Óleos essenciais de cascas e folhas de canela (*Cinnamomum verum* Presl) cultivada no Paraná.** Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 1997.

LOTO, Roland Tolulope. **Evaluation of the corrosion inhibition effect of the combined admixture of rosemary and cinnamon cassia oil on mild steel in weak acid electrolyte.** *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, v. 17, p. 100298-100305, 2020.

LIMA, R, M. **Avaliação do óleo essencial da casca da canela (*cinnamomum cassia*) como inibidor natural da corrosão em aço carbono 2022.** 64 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Curso de Bacharelado em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2022.

LIU, S.; GU, L.; ZHAO, H.; CHEN, J.; YU, H.: **Resistência à corrosão de revestimentos epóxi à base de água reforçados com grafeno.** *J. Mater. ciência Tecnol.*32, 425–431 (2016).

MIRANDA, C. A. S. F. et al. **Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento de espécies patogênicas.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, p. 213-220, 2016.

MORAIS, L. A. S. **Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais.** *Horticultura Brasileira*, v. 27, n. 2, p. 4050-4063, 2009.

MOUCHREK FILHO, V.E. **Estudos Analíticos e modificações químicas por metilação e acetilação do eugenol contido no óleo essencial extraído das folhas da espécie Pimenta**

dioica Lindl. Tese de Doutorado em Química, Programa de Pósgraduação em Química, UFSCar, São Carlos, 2000.

MONTEIRO, H, L. **Avaliação da eficácia dos óleos essenciais das espécies *piper divaricatum* e *eugenia caryophyllus* como inibidores de corrosão em aço carbono**, 2023, Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais- PPGCEM, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, p.91, 2023.

NATH, S. C.; PATHAK, M. G.; BARUAH A. **Benzylbenzoate, the major component of the leaf and stem bark oil of *Cinnamomum zeylanicum* Blume**. Journal Essential Oil Research, v.8, n.3, p. 327– 328, 1996.

NEGM, N. A.; YOUSEF, M. A.; TAWFIK, S. M. **Impact of Synthesized and Natural Compounds in Corrosion Inhibition of Carbon Steel and Aluminium in Acidic Media**. Recent Patents on Corrosion Science, Bentham Science Publishers, 2013.

OLIVEIRA, W. P; SOUZA, M, E, A. **Comparação dos métodos extração de óleo essencial de arraste a vapor e hidrodestilação utilizando casca de manga nos estados de desidratação e in natura**. Viii connepi, tocantins, 2012.

PAVELA, R. **Industrial Crops and Products Essential oils for the development of ecofriendly mosquito larvicides: A review**. Industrial Crops and Products, v. 76, p. 174-187, dec. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.050>>. Acesso em: 24 de setembro de 2024.

RANI, B. E. A.; BASU, B. B. J. *Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview*. International Journal of Corrosion, v. 2012, n. i, 2012. Rio de Janeiro, 1980. pgs 11-26 a 11-30.

ROCHA, Janaina Cardozo da; **Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais**. Dissertação Graduação– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

ROSTAMI-VARTOONI, A., et al.: **Photocatalytic degradation of azo dyes by titanium dioxide supported silver nanoparticles prepared by a green method using *Carpobrotus acinaciformis* extract**. J. Alloy. Compd. 689, 15–20 (2016).

SCHMOELLER, F; LIMA, M. G. **Inibidores de corrosão para estruturas de concreto armado: uma revisão**. Concreto & Construções, v., n. 103, p. 34-38, 2021.

SILVA, A, L, S. **caracterização e avaliação da atividade larvicida do óleo essencial do *Zingiber officinale* Roscoe (gingibre) frente ao mosquito *aedes aegypti***. Dissertação, São Luiz, 2012.

SILVA, A, NASCIMENTO, G, QUATTROCIOCCHI, D, MARTINAZZO, A. **Propriedades químico-quânticas utilizando o método TFD: uma ferramenta teórica aplicada no estudo de inibidores de corrosão**. Research, Society and Development, v.9, n.12, e2291210499, 2020.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: UFSC/UFRGS, 2007. 1104 p.

SOLMAZ, R.; KARDAS, G.; ÇULHA, M.; YAZICI, B.; ERBIL, M. **Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptothiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media.** *Electrochim Acta* 2008; 53(20):5941-52.

SOUZA, L, C. **Inibidores de corrosão naturais: uma comparação com substâncias de uso comercial.** Dissertação Graduação- Niterói:UFF, 2018.

SOUZA, S, A . **Composição química dos aços.** São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SULCROMO. **8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como evitá-los.** Disponível em:<<https://www.sulcromo.com.br/noticias-industria/8-tipos-de-corrosao-mais-comuns-na-industria-e-como>> . Acesso em: 13 Fev. 2025.

TELES, R.M. **Caracterização química, avaliação térmica e análise larvicida do óleo de Aniba duckei Kostermans contra Aedes aegypti.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, p.110, João Pessoa, 2009.

VANGALAPATI, M. et al. **A review on pharmacological activities and clinical effects of Cinnamon species.** *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, v.3, p. 653- 663, 2012.

VORIS, Diego G. da R. et al. **Estudos Etnofarmacológicos de Óleos Essenciais com Atividade Larvicida contra o mosquito Aedes Aegypt.** *Semioses*, v. 11, n. 1, p. 86-94, 2017.