

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO EXTRATO ETANÓLICO DA HORTELÃ (*Mentha spicata*) COMO INIBIDOR DE CORROSÃO

Gabriel Pereira Rocha^{1*}
Guilherme Santos da Silva Cruz¹
Henry Campanha Fugimoto¹
Leonardo Gomes Silva¹
Lorena Silva Vieira¹
Victor Teixeira Martins¹

Orientador (as): Prof.^{as} Aline Alves Ramos e Thais Taciano dos Santos

RESUMO

Os inibidores de corrosão são misturas ou substâncias utilizadas para controle da corrosão, processo natural de deterioração de um material. A utilização destes compostos é um método econômico e eficaz, entretanto, quando produzido com substâncias como cromatos, são prejudiciais ao meio ambiente. Uma forma de contornar este problema é a utilização de inibidores verdes. Desta forma, visando analisar a aplicabilidade do extrato etanólico da *Mentha spicata* como inibidor para o aço carbono em meio ácido (HCl 1 mol.L⁻¹) e salino (NaCl 1 mol.L⁻¹), foram produzidos extratos com o vegetal *in natura* e seco por maceração, utilizando etanol 96° GL pelo período de 4 dias, os quais foram submetidos a testes fitoquímicos para identificação de metabólitos extraídos, quantificação de compostos fenólicos totais e a ensaios de corrosão, expondo os corpos de prova de aço aos meios corrosivos por volta de 70 horas, variando a concentração do extrato em 0%, 5% ou 10% (v/v). O extrato etanólico da *Mentha spicata* foi mais eficiente quando produzido com o vegetal I.N., em meio ácido e na concentração de 10% (v/v), com uma taxa de eficiência de inibição (EI%) de até 82,45%. Os resultados revelam que a aplicação do extrato etanólico da *Mentha spicata* como inibidor verde pelas indústrias é promissora.

Palavras chave: Corrosão. Inibidor verde. *Mentha spicata*.

ABSTRACT

Corrosion inhibitors are mixtures or substances used to control corrosion, the natural process of deterioration of a material. The use of these compounds is an economical and effective method; however, when produced with substances such as chromates, they are harmful to the environment. One way to get around this problem is to use green inhibitors. Thus, in order to analyze the applicability of *Mentha spicata* ethanolic extract as an inhibitor for carbon steel in acidic (HCl 1 mol.L⁻¹) and saline (NaCl 1 mol.L⁻¹) media, extracts were produced from *in natura* and dried by maceration, using 96° GL ethanol for a period of 4 days, which were subjected to phytochemical tests to qualify the extracted metabolites, identification of total phenolic compounds and corrosion tests, exposing steel test specimens to corrosive media for approximately 70 hours, varying the extract concentration at 0%, 5%, or 10% (v/v). The *Mentha spicata* ethanolic extract was most effective when produced with the I.N. plant, in an acidic medium and at a concentration of 10% (v/v), with an inhibition efficiency rate (EI%) of up to 82.45%. The results reveal that the application of *Mentha spicata* ethanolic extract as a green inhibitor by industries is promising.

Keywords: Corrosion. Green inhibitor. *Mentha spicata*.

¹Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
*extratoetanolico.menthaspicata@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo natural ao qual o ser humano busca combater para a preservação de estruturas e materiais. A partir da 3^a Revolução Industrial, momento em que a preservação dos recursos naturais se estabeleceu como uma pauta essencial, inibidores de corrosão verdes passaram a ser mais estudados (FELIPE *et al.*, 2013; UNITED NATIONS, 1973).

Dentre os estudos realizados, Quraishi *et al.* (1999) demonstraram que compostos orgânicos vegetais são eficazes como inibidores de corrosão.

1.1. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEIS

Os objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) são metas estipuladas pela Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento global sustentável, econômico, social e ambiental, a fim de erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir bem-estar às pessoas até 2030 (ONU, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho aborda o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), por buscar uma forma mais econômica, eficaz e ambientalmente correta para combater a corrosão; o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), pela produção de um inibidor biodegradável; o ODS 14 (Vida na Água), pela formulação de um produto não prejudicial à saúde de corpos de água e que pode vir a substituir outros mais agressivos aos sistemas aquáticos e o ODS 15 (Vida Terrestre) pela formulação de um produto não prejudicial também a saúde de ambientes terrestres.

1.2. CORROSÃO

De acordo com Gentil (2011), corrosão é definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio aliada ou não a esforços mecânicos (figura 1).

Figura 1: Caldeira e canos metálicos corroídos



Fonte: FERNANDES *et al.* (2024)

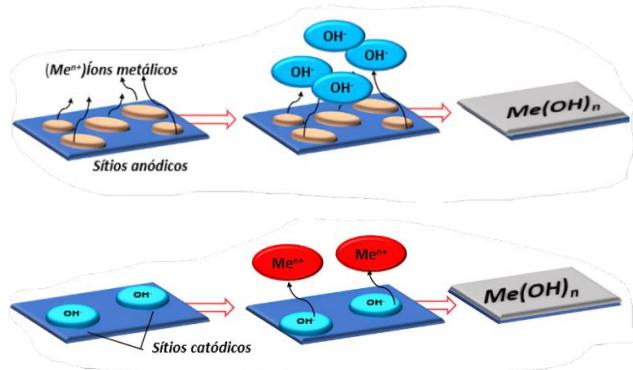
A corrosão representa prejuízos a vários setores, como o petrolífero e o industrial. Para controlar esse processo de degradação, métodos anticorrosivos foram desenvolvidos ao longo do tempo, como a criação de tintas e óleos anticorrosivos, inibidores de corrosão e

revestimento com fosfatos. O melhor método para aplicação deve levar em conta variáveis como o ambiente e o custo-benefício. Também é possível juntar diferentes métodos para maximizar a proteção dos metais. A solução mais comum para superfícies metálicas ao ar livre é um revestimento para impedir o meio corrosivo (como o ar ou a água da chuva) de entrar em contato com a superfície, porém esse processo tem um elevado custo de aplicação e manutenção e pode ser tóxico para o meio ambiente a depender do produto a ser utilizado, por isso, quando se tem o controle do meio corrosivo, é ideal a utilização de um inibidor de corrosão (BEVERARI, 2023; MONTEIRO, 2017).

1.3. INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores de corrosão são amplamente utilizados pela fácil aplicação, eficácia e por serem mais baratos em relação a outros processos. São compostos químicos que, ao serem introduzidos em ambientes agressivos, diminuem a degradação de materiais metálicos. Funcionam retardando as reações de oxirredução, podendo ser anódicos (reagem com os produtos da oxidação do metal) ou catódicos (reagem com a hidroxila – OH⁻ – liberada no processo de redução), como demonstrado na figura 2. Ainda existem os mistos que tem a capacidade de interagir tanto com os sítios anódicos quanto com os catódicos. Além disso, podem agir por diferentes meios, como passivação, envenenamento, precipitação e adsorção a superfície do metal. Dentre os inibidores de corrosão mais comuns no mercado, temos o fosfato de zinco e cromatos. Entretanto, esses inibidores de corrosão comerciais são tóxicos e poluentes persistentes, os quais agridem o meio ambiente desde sua produção até sua aplicação, também apresentando riscos à saúde humana. Por conta desses problemas, a utilização de inibidores de origem vegetal vem sendo explorada como uma alternativa sustentável aos convencionais (ADEXIM COMEXIM, 2025; DANTAS; CARDOSO, 2022; SANTOS, 2020).

Figura 2: Inibidor anódico e catódico



Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2023)

1.4. INIBIDORES DE CORROSÃO VERDES

Inibidores de corrosão verdes são inibidores oriundos de fontes renováveis, geralmente substâncias polares, e funcionam por adsorção, formando películas protetoras sobre áreas anódicas e catódicas. São vantajosos devido o custo benefício e serem biodegradáveis. A eficácia de compostos orgânicos como inibidores de corrosão está relacionada à presença de espécies catiônicas, pares eletrônicos livres e de heteroátomos, importantes nas posições ativas, facilitando a adsorção sobre a superfície metálica. A atividade dos heteroátomos segue uma ordem específica de eficácia: O < N < S < P (FERNANDES *et al.*, 2024; GENTIL, 2011; ITUEN; AKARANTA; JAMES, 2017; JAHDALY *et al.*, 2022).

Esse tipo de inibidor pode ser obtido a partir de extratos etanólicos, pois é um solvente polar prótico, o que lhe confere propriedade extractiva para compostos de mesma natureza, essenciais para o processo de inibição. Ainda mais, possui um tempo de meia-vida em água e em solo de 0,1 a 2,1 dias. Sua concentração letal no peixe *Semolitus atromaculatus* em 24h é de 7000 ppm, para a alga *Microcystis aeruginosa* é de 1450 mg.L⁻¹, para ratos via oral é de 7060 mg.Kg⁻¹ e não possui potencial de concentração na cadeia alimentar. Assim, sendo biodegradável e tendo baixa toxicidade para a fauna e flora em relação a outros solventes, como o metanol, é uma opção sustentável para produção de inibidores verdes (CETESB, 2025).

1.5. HORTELÃ (*Mentha spicata*)

A *Mentha spicata* (figura 3), também chamada de hortelã-verde, é uma erva perene, de fácil plantio e comum em solo nacional. Possui propriedades importantes para vários setores, sendo utilizada na medicina e nas indústrias de produtos de limpeza, cosméticos, agroquímicos e alimentícia (OJEWUMI *et al.*, 2018; SRIVASTAVA *et al.*, 2002).

Figura 3: *Mentha spicata*



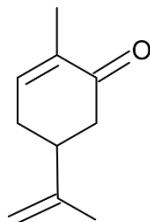
Fonte: OJEWUMI *et al.* (2018)

De acordo com Simões *et al.* (2007), no mundo, cerca de 880 toneladas de biomassa são produzidas anualmente para essa espécie de hortelã.

Sua utilização como inibidor de corrosão é possível devido à presença de compostos como a carvona (figura 4), que possui um átomo de

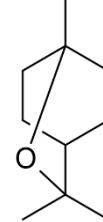
oxigênio ligado a cadeia por meio de uma ligação dupla, favorecendo a interação dos elétrons residentes da ligação π com a superfície metálica, e o 1,8-cineol (figura 5), que possui um oxigênio como heteroátomo (HADISAPUTRA *et al.*, 2025).

Figura 4: Carvona



Fonte: Do próprio autor (2025)

Figura 5: 1,8-cineol



Fonte: Do próprio autor (2025)

Além disso, há análises feitas por outros trabalhos que também utilizaram extratos desta mesma planta como inibidor verde, os quais comprovam sua eficiência como inibidor de corrosão. Jeetendra e Pramod (2022) aplicaram o extrato metanólico da hortelã como inibidor para aço de baixo carbono em HCl 2 mol.L⁻¹; Hanane e Zineb (2022) aplicaram o óleo essencial da hortelã como inibidor para alumínio em solução de NaCl a 3% e Hadisaputra *et al.* (2025) aplicaram o óleo essencial da hortelã como inibidor para cobre em H₂SO₄ 1 mol.L⁻¹. Foram obtidas eficiências de inibição de 86,01% utilizando 6 g.L⁻¹, 91,11% utilizando 2 g.L⁻¹ e 91,23% utilizando 0,5 g.L⁻¹ respectivamente.

De acordo com as pesquisas realizadas, este é o primeiro trabalho que utiliza o extrato obtido por maceração em etanol da hortelã-verde como inibidor de corrosão.

Então, considerando as vantagens na utilização da hortelã para controle da degradação oxidativa de metais e a viabilidade da utilização do etanol, este trabalho teve como objetivo analisar a aplicabilidade do extrato etanólico da *Mentha spicata* como inibidor de corrosão.

2 METODOLOGIA

Para a análise, foi realizada a produção dos extratos, os quais foram submetidos a testes qualitativos e quantitativos e a ensaios de corrosão.

2.1. MATERIAIS

Os reagentes e equipamentos utilizados para produção dos extratos, realização dos testes e dos ensaios de corrosão estão descritos, respectivamente, nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Reagentes e suas fórmulas químicas

Reagente	Fórmula molecular
4-Aminoantipirina	C ₁₁ H ₁₃ N ₃ O
Ácido gálico	C ₇ H ₆ O ₅
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄
Água destilada	H ₂ O
Cloreto de sódio (sal de cozinha)	NaCl
Cloreto férreo	FeCl ₃
Etanol 96 °GL	C ₂ H ₆ O
Ferricianeto de potássio	K ₃ [Fe(CN) ₆]
Hidróxido de sódio	NaOH
Hortelã <i>in natura</i>	--
Magnésio metálico	--
Solução tampão amoniacal pH 10	--

Fonte: Do próprio autor (2025)

Tabela 2: Equipamentos

Equipamento	Modelo	Marca
Balança analítica	AG200	Gehaka®
Centrifuga	Spinplus-8	Topscien Instrument®
Espectrofotômetro	1600UV	Nova Instruments®
Estufa de secagem	NT513-i	Novatecnica®
Micropipeta	PEGUE1000V	Peguepet®
Refrigerador	---	---

Fonte: Do próprio autor (2025)

Foram utilizados os seguintes materiais e utensílios laboratoriais: arruelas de aço SAE 1010/20 zinado, balões volumétricos, bastão de vidro, bêqueres, bico de Bunsen, cubetas de plástico, dessecador, erlenmeyers, espátula de aço inox, estante para tubos, fita de pH, forma de metal, funil de filtração, papel filtro, pinças de metal, pipetas Pasteur, ponteiras para pipeta automática, provetas, recipientes âmbar, tesoura, tubos de ensaio, tubos de Falcon e vidros de relógio.

A hortelã foi obtida em comércio local.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. PRODUÇÃO DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DA HORTELÃ

Dois tipos de extrato foram produzidos por maceração: o extrato a partir do vegetal *in natura*

(extrato I.N.) e o extrato a partir do vegetal seco (extrato S.) (FERNANDES *et al.*, 2019).

Para a produção do extrato I.N., em um erlenmeyer de 250 mL foram colocados cerca de 50 g de hortelã picotada e 100 mL de etanol 96 °GL. Após isso, vedou-se o recipiente para processo de maceração por 4 dias. Passado esse período, o extrato foi filtrado e seu volume resultante foi medido em uma proveta de 100 mL, colocado em um recipiente âmbar e armazenado sob refrigeração entre 2 °C e 4 °C.

Para a produção do extrato S., cerca de 50 g de hortelã picotada foram secas em estufa de aquecimento sob temperatura de 70-80 °C até peso constante (cerca de 40 minutos). Após isso, transferiu-se a hortelã seca para um erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 100 mL de etanol 96 °GL. Depois, vedou-se o recipiente para processo de maceração por 4 dias. Passado esse período, o extrato foi filtrado e seu volume resultante foi medido em uma proveta de 100 mL, colocado em um recipiente âmbar e armazenado sob refrigeração entre 2 °C e 4 °C (DIAS *et al.*, 2011).

Os extratos foram produzidos em duplicata, gerando quatro amostras para prospecção pelos testes qualitativos e quantitativos e pelos ensaios de corrosão. A primeira réplica corresponde ao lote 1 e a segunda réplica ao lote 2.

2.2.2. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DA EXTRAÇÃO POR SÓLIDOS TOTAIS DOS EXTRATOS

Pesou-se uma amostra de 10 mL dos extratos I.N. e S. em bêqueres de 50 mL para posterior secagem em estufa de aquecimento com temperaturas acima de 100 °C por 2,5 horas aproximadamente. Após isso, os bêqueres foram colocados em dessecador até atingirem temperatura ambiente para serem pesados.

Depois desse processo, para calcular o rendimento da amostra em porcentagem (R%) foi utilizado a fórmula 1, que determina o valor de R% pela razão entre a massa do extrato pós-vaporização ($M_{p.v.}$) e a massa do extrato antes da vaporização ($M_{a.v.}$). Então, o resultado obtido é multiplicado por 100. Com o valor de R% é possível determinar o rendimento aproximado total da extração, conforme demonstrado na fórmula 2, na qual o rendimento total da extração em porcentagem (RT%) é determinado pela multiplicação entre R% e a razão entre o volume total do extrato em mL (V) pelo volume da amostra (V_a) (MINISSO; CUINICA, 2020).

$$R\% = \frac{M_{p.v.}}{M_{a.v.}} \times 100$$

(Fórmula 1)

$$RT\% = R\% \times \frac{V}{V_a}$$

(Fórmula 2)

2.2.3. TESTES FITOQUÍMICOS DOS EXTRATOS

Para realização dos testes fitoquímicos, foi utilizada a metodologia adaptada de Matos (1988). Durante os testes, adicionou-se uma quantidade de água destilada suficiente para visualização de alterações nos extratos, comparando-os a um branco igualmente diluído.

- **Teste de identificação de fenóis e taninos**

Em um tubo de ensaio foi colocado 3 mL do extrato I.N. e 5 gotas de FeCl_3 . Após isso, adicionou-se água ao tubo e este foi levado para centrifuga por 1 minuto. O mesmo procedimento foi feito para o extrato S.

- **Teste de identificação de antocianinas, antocianidinas flavonas, flavonois e xantonas**

Em três tubos de ensaio foram postos 3 mL do extrato I.N. Um dos tubos foi acidificado com HCl 1 mol. L^{-1} até pH 3 e os outros dois foram alcalinizados com NaOH 1 mol. L^{-1} , um até pH 8 e o outro até pH 11. Após isso, adicionou-se água destilada. O mesmo foi feito para o extrato S.

- **Teste de identificação de leucoantocianidinas, catequinas e flavanonas**

Os tubos ajustados até pH 3 e 11 no teste anterior foram diluídos com água e aquecidos em bico de Bunsen por 3 minutos.

- **Teste de identificação de flavonois, flavanonas, flavanonois e xantonas**

Em um tubo de ensaio foram colocados 3 mL do extrato I.N., um pequeno fragmento de magnésio metálico e 0,5 mL de HCl concentrado. Após isso, adicionou-se água destilada. O mesmo procedimento foi feito para o extrato S.

2.2.4. DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS PELO MÉTODO 4-AAP (4-AMINOANTIPIRINA)

Para a determinação de compostos fenólicos totais nos extratos produzidos, foi utilizado o método 4-AAP (4-aminoantipirina) adaptado de Rosa (2015).

Em balões volumétricos de 10 mL, foram preparadas soluções padrões de ácido gálico (AG) de 10, 25, 50, 75 e 100 mg. L^{-1} (tabela 3); soluções amostra com concentração de 2% dos extratos

(v/v) e o branco (água destilada). Em cada balão foram adicionadas 4 gotas do tampão pH 10, agitando a cada adição; 200 μL de solução 4-AAP a 3% e 2000 μL de solução $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ a 2%. Os balões foram completados com água destilada.

Tabela 3: Padrões de AG

Padrão	Concentração (mg. L^{-1})
P1	10
P2	25
P3	50
P4	75
P5	100

Fonte: Do próprio autor (2025)

Em cubetas de plástico, foram transferidas as soluções padrão, amostra e o branco.

Utilizando o espectrofotômetro, foi feita a varredura do branco e do P3 na faixa de 450-550 nm para definição do pico de absorbância máxima do complexo antipirina. O valor encontrado foi utilizado para produção da curva analítica dos padrões e leitura das soluções amostra.

2.2.5. ENSAIOS DE CORROSÃO

12 arruelas de aço carbono SAE 1010/20 zinckado de área superficial total de 0,628 cm^2 e massa específica de 7,87 g. cm^{-3} (figura 6), utilizadas como corpo de prova, foram lavadas utilizando a parte macia de uma esponja multiuso, água destilada e sabão, secas e colocadas em H_2SO_4 1 mol. L^{-1} por 5 minutos. Após isso, as arruelas foram lavadas com água destilada e colocadas em estufa de aquecimento a 80 °C até secagem. Então, foram pesadas e colocadas em meios corrosivos fechados por 3 dias (AKTAS; ACMA, 2002; K9, 2025).

Figura 6: Arruela de aço



Fonte: Do próprio autor (2025)

Foram preparados 12 meios corrosivos diferentes com um volume total de 10 mL: 6 contendo HCl 1 mol. L^{-1} e os outros contendo uma solução de sal de cozinha 1 mol. L^{-1} preparada com água potável, variando entre eles as concentrações (v/v) dos extratos (0%, 5% ou 10%) e os tipos de extrato (I.N. ou S.).

Após 3 dias, as arruelas foram retiradas dos meios corrosivos e submetidas a banho de NaOH concentrado por 30 segundos. Depois, foram lavadas com água destilada, secas e pesadas.

Os ensaios foram feitos em triplicata, de modo a obter dados suficientes para verificação da eficiência dos extratos como inibidores de corrosão.

Depois desse processo, foi necessária a utilização da fórmula 3 para a determinação da taxa de corrosão dos corpos de prova em mm/ano (W_{corr}), obtida pela divisão entre o produto da constante de conversão para mm/ano ($8,76 \cdot 10^4$) e a massa perdida em gramas (M) pelo produto entre a área do corpo de prova em cm^2 (A), o tempo do ensaio em horas (t) e a massa específica do metal em g.cm^{-3} (ρ). Com os valores de W_{corr} , é possível se obter a taxa de eficiência de inibição em porcentagem (EI%), conforme a fórmula 4, determinada pela razão entre a diferença do valor de W_{corr} no meio corrosivo com 0% de extrato ($W_{s.e.}$) e do valor de W_{corr} no meio corrosivo contendo o extrato ($W_{c.e.}$) pelo $W_{s.e.}$. Então, o resultado obtido é multiplicado por 100 (ASTM G1-03, 2011).

$$W_{corr} = \frac{K \times M}{A \times t \times \rho} \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$EI\% = \frac{W_{s.e.} - W_{c.e.}}{W_{s.e.}} \times 100 \quad (\text{Fórmula 4})$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PRODUÇÃO DOS EXTRATOS ETANÓLICOS DA HORTELÃ

Foram utilizados 100 mL de etanol para produção dos extratos, entretanto, o maior volume obtido após a filtração foi de 88,7 mL, como demonstrado na tabela 4. Também foi possível observar que os extratos I.N. de cada lote renderam um maior volume que os extratos S.

Tabela 4: Volume em mL obtido dos extratos de cada lote

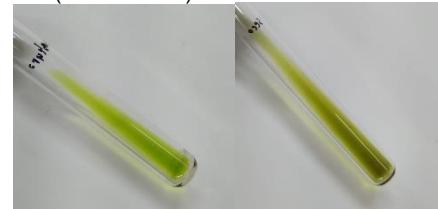
	Extrato I.N.	Extrato S.
Lote 1	84,0	79,0
Lote 2	88,7	87,5

Fonte: Do próprio autor (2025)

Esses resultados estão relacionados aos estados de equilíbrio dinâmico estabelecidos no sistema de extração. Como foi utilizado um recipiente de 250 mL para produção dos extratos, o etanol volatilizou até atingir o equilíbrio líquido-vapor dos sistemas. Além disso, parte do extrato ficou retido no interior da matéria orgânica pelo processo de osmose, processo natural que ocorre de uma solução menos concentrada até uma mais concentrada por meio de uma membrana semipermeável. Como no vegetal seco havia uma concentração baixa de humidade, uma maior quantidade do etanol adentrou na matéria vegetal seca para alcançar o equilíbrio osmótico (FONSECA, 2016).

Ao analisar o aspecto visual dos extratos, o I.N. apresentou um tom de verde mais claro e menos saturado que o S., ambos homogêneos e pouco viscosos, conforme registrado na figura 7.

Figura 7: Aspectos visuais do extrato I.N. (tubo à esquerda) e do extrato S. (tubo à direita) do lote 1

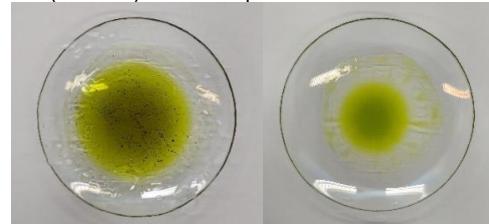


Fonte: Do próprio autor (2025)

A divergência na coloração entre os extratos deve estar relacionada ao tratamento da matéria vegetal antes da maceração. Enquanto para o extrato I.N. o vegetal apenas foi fracionado, para o extrato S. o vegetal passou por um tratamento térmico, que pode ter levado a formação de compostos de coloração mais escura, causando a diferença observada. Os extratos do lote 2 apresentaram o mesmo aspecto.

Depois de ficarem guardados por um período de aproximadamente 1 mês sob refrigeração, foi observado que os extratos mudaram visualmente (figura 8).

Figura 8: Aspectos visuais do extrato I.N. (à esquerda) e do extrato S. (à direita) do lote 1 após armazenamento



Fonte: Do próprio autor (2025)

Houve a formação de sólidos no extrato I.N. e os dois extratos apresentaram alteração na coloração em comparação a seu estado inicial indicado na figura 7. Isso indica que ao longo do tempo, mesmo armazenado sob refrigeração (2 °C ~ 4 °C) e em recipientes ômbares, o extrato tem sua estrutura comprometida, podendo ser um limitante quanto sua aplicação industrial.

3.2. DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DA EXTRAÇÃO POR SÓLIDOS TOTAIS DOS EXTRATOS

Conforme a tabela 5, em ambos os lotes, o extrato I.N. foi o que apresentou maior rendimento.

Tabela 5: Valores de RT% dos extratos de cada lote

	RT% I.N.	RT% S.
Lote 1	9,63	5,70
Lote 2	11,3	10,5

Fonte: Do próprio autor (2025)

A diferença dos valores de RT% entre os lotes se deve pela variabilidade intrínseca da matéria orgânica utilizada, proveniente da complexidade estrutural das plantas, as quais são afetadas por muitos fatores, como ambientais ou ontogenéticos. Já a diferença entre os valores do rendimento dos extratos I.N. e S., também observado por Franzen *et al.* (2018), está relacionada ao processo de secagem da hortelã para o preparo do extrato S., já que quanto mais água retiramos do vegetal, menor é o rendimento do extrato, ou seja, extrações feitas com o vegetal seco sempre apresentam um rendimento menor que extrações feitas com o vegetal *in natura*.

3.3. TESTES FITOQUÍMICOS DOS EXTRATOS

Os testes fitoquímicos são métodos qualitativos utilizados para a identificação de metabólitos secundários. Dessa forma, é possível relacionar os componentes presentes nos extratos ao processo de inibição, ajudando a esclarecer o mecanismo de funcionamento do extrato etanólico da *Mentha spicata* como inibidor de corrosão sob o aço.

3.3.1. Teste de identificação de fenóis e taninos

Os metabólitos identificados neste teste estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Metabólitos secundários identificados nos extratos I.N. e S. no teste de identificação de fenóis e taninos – (+) presença e (-) ausência

Metabólitos	I.N.	S.
Fenóis	-	-
Taninos	+	+

Fonte: Do próprio autor (2025)

A presença de taninos foi identificada pela formação de um precipitado verde escuro (figura 9) resultante da reação de complexação entre o FeCl₃ e os taninos condensados (proantocianidinas), originando a cor verde característica desse grupo de metabólitos (ALBANO; SANTOS; BASTOS, 2022; MAHESHWARAN *et al.*, 2024).

Figura 9: Resultado do teste de identificação de fenóis e taninos



Fonte: Do próprio autor (2025)

3.3.2. Teste de identificação de antocianinas, antocianidinas, flavonas, flavonois e xantonas

Os metabólitos identificados neste teste estão apresentados na tabela 7.

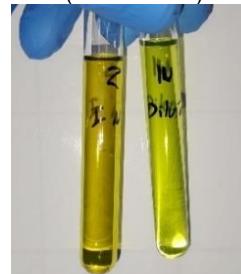
Tabela 7: Metabólitos secundários identificados nos extratos I.N. e S. no teste de identificação de antocianinas, antocianidinas, flavonas, flavonois e xantonas – (+) presença e (-) ausência

Metabólitos	I.N.	S.
Antocianinas	-	-
Antocianidinas	-	-
Flavonas	+	+
Flavonois	+	+
Xantonas	+	+

Fonte: Do próprio autor (2025)

A presença de flavonas, flavonois e xantonas foi identificada pela formação de uma coloração amarela em pH 11, resultante da reação de neutralização entre o NaOH e os metabólitos. Essa reação ocorre devido à natureza ácida do grupo hidroxilo fenólico presentes nesses metabólitos, que reagem com a base formando um composto solúvel com a coloração identificada (figura 10) (MAHESHWARAN *et al.*, 2024).

Figura 10: Resultado do teste de identificação de antocianinas, antocianidinas, flavonas, flavonois e xantonas (tubo à esquerda) comparado a um branco (tubo à direita)



Fonte: Do próprio autor (2025)

3.3.3. Teste de identificação de leucoantocianidinas, catequinas e flavanonas

Os metabólitos identificados neste teste estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Metabólitos secundários identificados nos extratos I.N. e S. no teste de identificação de leucoantocianidinas, catequinas e flavanonas – (+) presença e (-) ausência

Metabólitos	I.N.	S.
Leucoantocianidinas	-	-
Catequinas	+	+
Flavanonas	-	-

Fonte: Do próprio autor (2025)

A presença de catequinas foi identificada pela formação de uma coloração pardo-amarela em meio ácido (figura 11) resultante da reação de clivagem ácida das proantocianidinas, fazendo com que as catequinas agregadas na estrutura desses compostos fossem liberadas e formassem quinonas coloridas (SILVA et al., 2016).

Figura 11: Resultado do teste de identificação de leucoantocianidinas, catequinas e flavanonas (tubo à esquerda) comparado a um branco (tubo à direita)



Fonte: Do próprio autor (2025)

3.3.4. Teste de identificação de flavonois, flavanonas, flavanonois e xantonas

Os metabólitos identificados neste teste estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Metabólitos secundários identificados nos extratos I.N. e S. no teste de identificação de flavonois, flavanonas, flavanonois e xantonas – (+) presença e (-) ausência

Metabólitos	I.N.	S.
Flavonóis	+	-
Flavanonas	+	-
Flavanonois	+	-
Xantonas	+	-

Fonte: Do próprio autor (2025)

A presença de flavonois, flavanonas, flavanonois e/ou xatonas livres ou seus heterosídeos foi identificada apenas no extrato I.N. pela formação de uma coloração avermelhada (figura 12) resultante da reação de redução entre os compostos fenólicos, o magnésio e o HCl, convertendo os metabólitos a sua forma de aglicona (MAHESHWARAN et al., 2024).

Figura 12: Resultado do teste de identificação de flavonois, flavanonas, flavanonois e xantonas

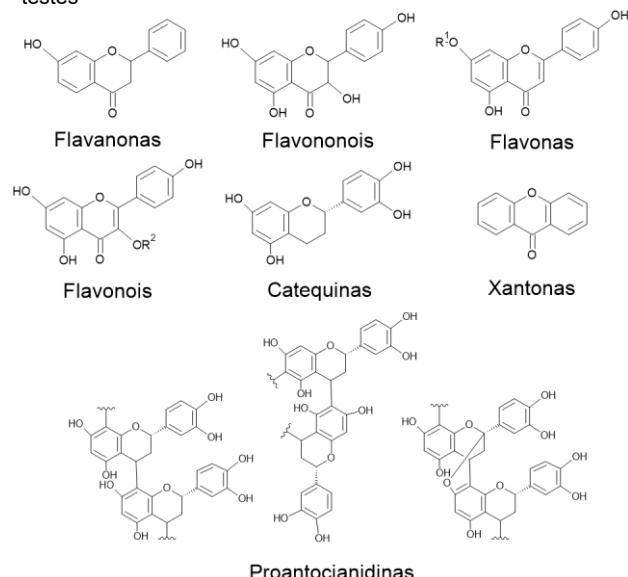


Fonte: Do próprio autor (2025)

Partindo da estrutura básica dos metabólitos identificados (figura 13), o mecanismo de funcionamento do extrato como inibidor de corrosão está relacionado com a formação de

complexos por coordenação e a reação de pares eletrônicos, disponíveis por heteroátomos de oxigênio e por ligações π de cadeias cíclicas, aos sítios anódicos. As ramificações presentes nesses metabólitos também influenciam nessa propriedade do extrato, pois podem conter outras espécies catiônicas e/ou aniônicas, as quais podem reagir com os sítios disponíveis (SESSA et al., 2023).

Figura 13: Estrutura básica dos metabólitos identificados nos testes



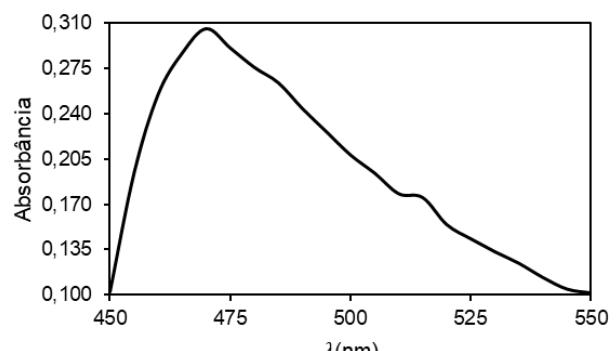
Fonte: Adaptado de KIEKOW, (s.d.); KONTOUDAKIS, 2010; ORIOLA; KAR, 2024.

3.4. DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS PELO MÉTODO 4-AAP (4-AMINOANTIPIRINA)

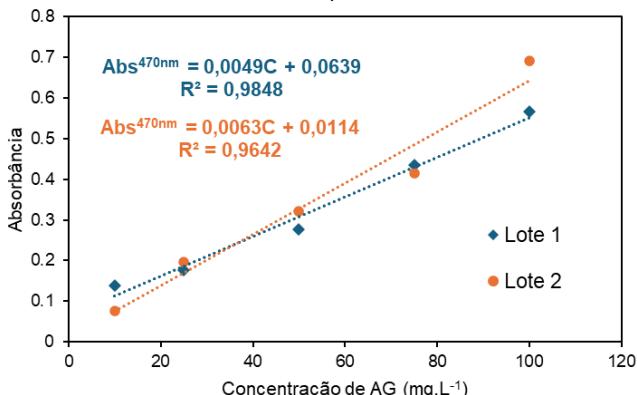
Após a verificação da presença e dos tipos de compostos fenólicos por meio dos testes fitoquímicos, a análise da concentração destes nos extratos foi realizada para observar a relação entre a concentração de compostos fenólicos totais e a eficiência dos extratos como inibidor de corrosão.

O pico de absorção de 470 nm para o corante antipirina foi obtido a partir do espectro de absorção do P3 (gráfico 1) para elaboração das curvas analíticas dos padrões de AG (gráfico 2).

Gráfico 1: Espectro de absorção do P3

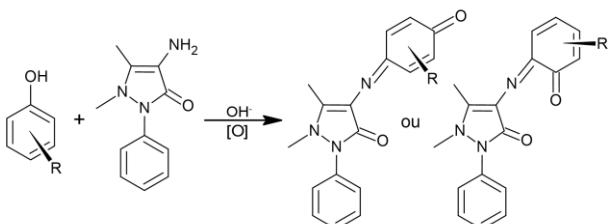


Fonte: Do próprio autor (2025)

Gráfico 2: Curvas analíticas dos padrões de AG

Fonte: Do próprio autor (2025)

O AG é utilizado como padrão, pois seu mecanismo de interação entre a 4-AAP na presença de um agente oxidante, no caso o $K_3[Fe(CN)_6]$, em meio alcalino é semelhante a outros tipos de compostos fenólicos, formando o corante antipirina, um complexo de coloração marrom-avermelhado, de concentração diretamente proporcional a de compostos fenólicos. A reação ocorre como demonstrado na figura 14 (GRANJA, 2014).

Figura 14: Mecanismo de reação entre um composto fenólico qualquer e a 4-AAP

Fonte: Adaptado de GRANJA (2014)

A concentração de compostos fenólicos totais, expressa em mg equivalente de ácido gálico por litro de extrato (mg EAG.L^{-1}), para os extratos do lote 1 e 2 estão descritas na tabela 10.

Tabela 10: Concentração de compostos fenólicos totais em mg EAG.L⁻¹ obtidas nos extratos de cada lote

	Extrato I.N.	Extrato S.
Lote 1	85,94	80,63
Lote 2	86,60	64,06

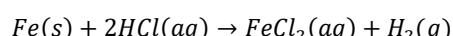
Fonte: Do próprio autor (2025)

3.5. ENSAIOS DE CORROSÃO

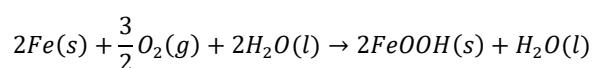
Antes do início dos ensaios, as arruelas foram submetidas ao banho de H_2SO_4 para a digestão da camada de zinco que protegia as arruelas da corrosão.

Durante os ensaios, observou-se a formação de bolhas nos sistemas. O aço em contato com o HCl forma cloreto ferroso ($FeCl_2$) e gás hidrogênio (H_2), como demonstrado na equação 1. Esse gás

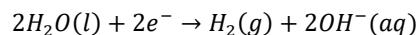
produzido é o responsável pelas bolhas formadas nos meios ácidos. O aço em contato com a água reage de forma lenta, produzindo oxihidróxido ferroso ($FeOOH$), também conhecido por limonita ou ferrugem (equação 2), mas a reação pode ser acelerada pela presença de sais que atuam como ponte salina, transformando o sistema em uma pilha, conforme demonstrado na figura 15. Nesta pilha também ocorre a reação catódica de redução da água, formando íons hidroxídeo (OH^-) e H_2 , como demonstrado na equação 3. Esse gás produzido também é o responsável pelas bolhas formadas em meio salino (PANNONI, 2015; RAMALHO, 2023; SANJUAN et al., 2025).



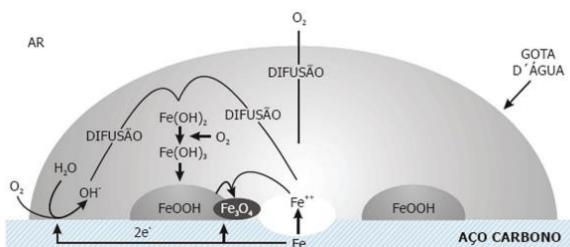
(Equação 1)



(Equação 2)

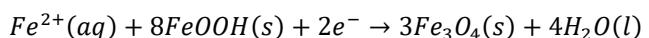


(Equação 3)

Figura 15: Reações entre o aço e a água em meio salino

Fonte: SANJUAN et al. (2025)

Além disso, foi observada uma suspensão de coloração preta em volta dos corpos de prova nos meios salinos. Esse evento pode ser atribuído à formação do tetróxido de triferro (Fe_3O_4), também conhecido como magnetita, pela reação entre a ferrugem e o aço no meio, como demonstrado na equação 5 (HASTUTY; KATAYAMA, 2016).

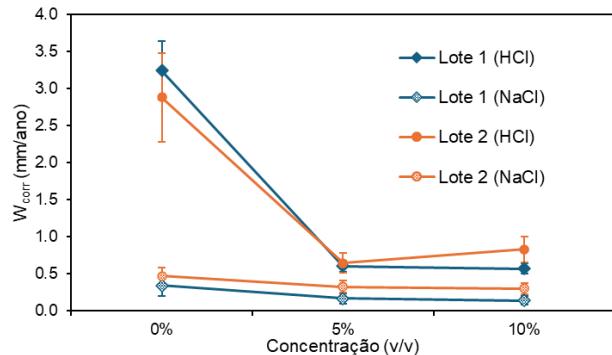


(Equação 5)

Passadas as 70 horas em contato com os meios corrosivos, os corpos de prova foram retirados dos meios, tratados com NaOH para remoção da camada adsorptiva formada pela reação superficial com os extratos, lavados, secos e pesados para determinação dos valores de W_{corr} , segundo a fórmula 3.

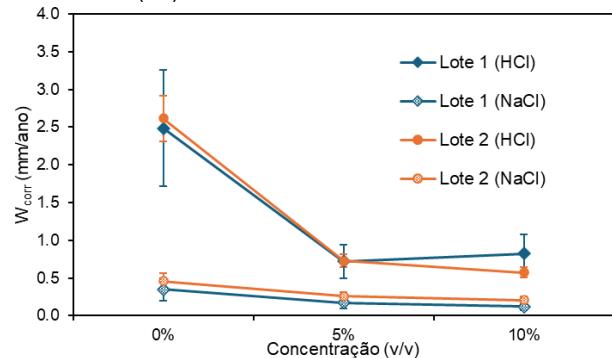
Os gráficos 3 e 4 demonstram os valores médios de W_{corr} obtidos nos ensaios.

Gráfico 3: Valores médios de W_{corr} dos corpos de prova em meio ácido (HCl) e salino (NaCl) sob diferentes concentrações do extrato I.N. (v/v)



Fonte: Do próprio autor (2025)

Gráfico 4: Valores médios de W_{corr} dos corpos de prova em meio ácido (HCl) e salino (NaCl) sob diferentes concentrações do extrato S. (v/v)



Fonte: Do próprio autor (2025)

Como é possível observar nos gráficos, houve uma queda na taxa de corrosão dos corpos de prova no meio ácido com a utilização de 5% (v/v) dos extratos, mais acentuada com o extrato I.N. Apesar de menos aparente, a taxa de corrosão também apresentou uma diminuição considerável em meio salino.

Ao aumentar a concentração para 10% (v/v), a taxa seguiu diminuindo, tanto no meio ácido quanto no meio salino, com exceção do extrato S. do lote 1 e do extrato I.N. do lote 2 em meio ácido, que apresentaram um aumento na taxa de corrosão em relação à concentração de 5% (v/v).

Os valores de EI%, demonstrados nas tabelas 11 e 12, confirmam as tendências observadas nos gráficos.

Tabela 11: Valores médios de EI% dos ensaios de corrosão no meio ácido em diferentes concentrações dos extratos (v/v)

	v/v	EI% I.N.	EI% S.
Lote 1	5%	81,43 ± 2,318	60,97 ± 32,82
	10%	82,45 ± 3,392	57,84 ± 26,78
Lote 2	5%	77,68 ± 3,166	72,25 ± 6,497
	10%	69,93 ± 8,241	78,02 ± 2,532

Fonte: Do próprio autor (2025)

Tabela 12: Valores médios de EI% dos ensaios de corrosão no meio salino em diferentes concentrações dos extratos (v/v)

	v/v	EI% I.N.	EI% S.
Lote 1	5%	51,28 ± 17,77	49,70 ± 16,42
	10%	58,97 ± 37,94	66,47 ± 23,86
Lote 2	5%	23,56 ± 35,18	43,70 ± 3,020
	10%	32,06 ± 23,14	53,58 ± 20,98

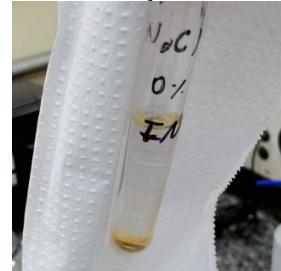
Fonte: Do próprio autor (2025)

No lote 1, o extrato I.N. foi mais eficaz quando aplicado em meio ácido, resultando em uma eficiência máxima de 82,45%, mas em meio salino o extrato S. foi o mais eficiente, resultando em uma eficiência de até 66,47%. Já no lote 2, o extrato S. foi o mais eficaz em ambos os meios, com uma eficiência de até 78,02% em meio ácido e 53,58% em meio salino.

A dispersão observada no lote 1 pela utilização do extrato S. em meio ácido deve estar relacionada a erros sistemáticos durante os ensaios, já que no próprio lote foram obtidos valores com uma menor variação e no lote 2 todos os resultados em meio ácido apresentaram dispersões menores que 9%.

A dispersão observada nos ensaios em meio salino deve estar relacionada a ineficiência do método de tratamento dos corpos de prova depois de retirados dos meios corrosivos. A limpeza mecânica poderia interferir na massa dos corpos de prova, então foi optado em utilizar apenas lavagem com água destilada, tratamento químico da superfície dos metais para retirada da camada adsorptiva formada pelo extrato, utilizando NaOH concentrado, e secagem. Entretanto, esse processo não foi capaz de retirar toda a ferrugem formada na superfície do metal (figura 16), o qual aumentava o peso dos corpos de prova de forma aleatória, principalmente nos ensaios em branco, que utilizavam 0% de extrato.

Figura 16: Ferrugem (FeOOH) formada após 70 horas de contato entre a arruela e a solução de NaCl 1 mol.L⁻¹



Fonte: Do próprio autor (2025)

Ao observar o rendimento (tabela 5) e a concentração de compostos fenólicos (tabela 10) nos extratos, esperava-se que o extrato I.N. do lote 2 fosse o mais eficiente por apresentar maior

rendimento e concentração desses compostos. Entretanto, o extrato I.N. do lote 1 foi o mais eficiente. Dessa forma, o rendimento por sólidos totais não é diretamente proporcional a eficiência dos extratos. De acordo com Lima (2021), o teor de compostos fenólicos totais também não é proporcional a eficiência de inibição em meio ácido, sugerindo as macromoléculas como as possíveis responsáveis pelo processo de inibição, o que explica a ausência da relação esperada. Pelos dados obtidos, essa relação também não é estabelecida em meio salino.

Vários fatores podem ter influenciado na eficiência do extrato etanólico da *Mentha spicata* como inibidor de corrosão. Tais fatores podem justificar as variações obtidas nos resultados do presente trabalho em comparação aos trabalhos anteriormente citados, que obtiveram eficiências de inibição maiores que 85%. Parâmetros como tipo de solvente, razão soluto/solvente, tempo de extração, tempo de exposição do corpo de prova, controle de temperatura e outras modificações empregadas nas publicações de referência não foram repetidas neste estudo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram produzidos extratos etanólicos da *Mentha spicata in natura* e secos e determinado o rendimento das extrações por sólidos totais. Também foram qualificadas classes de metabólitos presentes nos extratos, entre eles compostos fenólicos, os quais foram quantificados.

Ao comparar a eficiência dos extratos com o rendimento e a concentração dos compostos fenólicos, não foi encontrada relação direta.

A eficiência dos extratos foi definida com base nos ensaios de corrosão realizados e concluiu-se que o extrato etanólico da *Mentha spicata in natura* foi o mais eficiente para aplicação em meio ácido ($HCl 1 \text{ mol.L}^{-1}$). O extrato etanólico da *Mentha spicata* seco foi mais eficiente em meio salino ($NaCl 1 \text{ mol.L}^{-1}$). Sendo assim, o extrato etanólico da *Mentha spicata* é aplicável para o controle do processo de degradação oxidativa do aço carbono em meios ácidos e salinos pelas indústrias.

São necessários mais estudos e testes para definir um parâmetro quantitativo relacionado diretamente à eficiência dos extratos e considerando outras formas de tratamento dos corpos de prova após serem removidos dos meios corrosivos, afim de obter resultados mais precisos e fiéis a análise da perda de massa. Também é necessário averiguar a eficiência dos extratos após diferentes períodos de armazenagem sob

refrigeração e qual é o melhor método de condicionamento.

REFERÊNCIAS

ADEXIM COMEXIM (São Paulo). **Inibidores de corrosão tintas e revestimentos**. [s.d.]. Acesso em: 22 mar. 2025.

AKTAS, S.; ACMA, E. Recovery of zinc from galvanized scraps. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, Turquia, v. 26, [s.n.], p. 395-402, out. 2002.

ALBANO, W. M.; SANTOS, M. G.; BASTOS, W. G. O estudo da teoria ácido-base de Lewis a partir de reações com substâncias fenólicas de plantas medicinais. *Química Nova na Escola*, [s.l.], v. 44, n. 3, p. 361-366, ago. 2022.

ARAÚJO, P. L. L. **Estudo do extrato de *Anacardium occidentale* como inibidor verde de corrosão**. 46 f. TCC (Bacharelado) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2023.

ASTM G1-03. **Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens**. Pensilvânia, 2011.

BEVERARI, I. **Avaliação ecotoxicológica dos inibidores de corrosão biológicos**: gluconato de sódio (SG) e nitrito de sódio (NO_2^-), em suas formas livres e nanoencapsuladas, sobre embriões de ouriço-do-mar (*Echinometra lucunter*). 32 f. TCC (Bacharelado) – Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2023.

CETESB. **Ficha de informação de produto químico**: álcool etílico. São Paulo: CETESB, [s.d.]. Acesso em: 13 dez. 2025.

DANTAS, M. C. N.; CARDOSO, S. P. Inibidor de corrosão de origem vegetal: revisão em artigos publicados no Brasil. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, v. 14, [s.n.], p. 1-20, out. 2022.

DIAS, R. A. L. et al. Secagem e extração de taninos totais da hortelã (*Mentha x vilosa* Hudson). *Revista Agrarian*, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 123-133, jun. 2011.

FELIPE, M. B. M. C. et al. Aspectos gerais sobre corrosão e inibidores vegetais. *Revista Virtual de Química*, Rio Grande do Norte, v. 5, n. 4, p. 746-759, ago. 2013.

FERNANDES, J. et al. Inibidores de corrosão verdes e glicerina: revisão e perspectivas futuras.

Revista Sociedade Científica, [s.l.] v. 7, n. 1, p. 1528-1544, 2024.

FERNANDES, L. D. et al. Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 1-14, 1 jan. 2019.

FONSECA, M. R. M. **Química – Ensino médio**. 2^a Edição, 368 p. São Paulo: Editora ática. 2016.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 6^a Edição, 97 p. [s.l.]: Gerdau. 2015.

FRANZEN, F. L. et al. Teor e rendimento de extratos de flores medicinais e aromáticas obtidos por diferentes métodos de extração. **6º simpósio de segurança alimentar**, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 1-6, 2018.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6^a Edição, 360 p. Rio de Janeiro: LTC. 2011.

GRANJA, B. S. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de compostos fenólicos totais em amostras de bebidas empregando MBTH (3-metil-2-benzotiazolinona hidrazina) como reagente espectrofotométrico**. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química Analítica, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2014.

HASTUTY, S.; KATAYAMA, H. Hydrogen permeation of iron caused by atmospheric corrosion. **Aip Conference Proceedings**, [s.l.], v. 1778, n. 030063, p. 1-8, out. 2016.

HANANE, H.; ZINEB, B. Etude gravimétrique de l'inhibition de corrosion de l'aluminium par l'huile essentielle de menthe verte (*Mentha spicata*) en milieu salin (3.0 % NaCl). 101 f. Dissertação (mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade 8 Mai 1945 Guelma, Guelma, 2022.

ITUEN, E.; AKARANTA, O.; JAMES, A. Evaluation of performance of corrosion inhibitors using adsorption isotherm models: an overview. **Chemical Science International Journal**, Nigeria, v. 18, n. 1, p. 1-34, jan. 2017.

JAHDALY, B. A. A. et al. Role of green chemistry in sustainable corrosion inhibition: a review on recent developments. **Materials Today Sustainability**, [s.l.], v. 20, [s.n.] p. 100242, dez. 2022.

JEETENDRA, B.; PRAMOD J. Corrosion Inhibition Potential of *Mentha spicata* Extract on Mild Steel in Acidic Medium. **Iranian Journal of**

Chemistry and Chemical Engineering. India, v. 41, n. 10, dez. 2022.

K9 COMÉRCIO DE AÇOS. **Aço 1020**. 2022. Acesso em: 23 set. 2025.

KIEKOW, C. J. et al. **Planejamento e síntese de flavonóides visando atividade biológica**. 1 f. Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, [s.d.].

KONToudakis, N. **Grape phenolic maturity; Determination methods and consequences on wine phenolic composition**. 188 f. Tese (Doutorado) – Curso de Enologia, Universidade Rovira I Virgili, Tarragona, 2010.

LIMA, K. C. S. **Estudo do farelo de soja como inibidor de corrosão**. 138 f. Tese (Doutorado) – Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

MAHESHWARAN, L. et al. Phytochemical testing methodologies and principles for preliminary screening/qualitative testing. **Asian Plant Research Journal**, [s.l.], v. 12, n. 5, p. 11-38, ago. 2024.

MATOS, F. J. A. **Introdução à fitoquímica experimental**. 1^a Edição, 123 p. Fortaleza: Imprensa Universitária (Eufc), 1988.

MINISSO, I. C.; CUINICA, L. G. Análise fitoquímica e atividade antibacteriana dos extratos de *Securidaca longepedunculata*. **Revise**, Moçambique, v. 7, [s.n.], p. 1-23, abr. 2020.

MONTEIRO, A. M. **Avaliação da ação inibidora da polpa de juçara (*Euterpe edulis*) como inibidor de corrosão na indústria de petróleo**. 76 f. TCC (Bacharelado) – Curso de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OJEWUMI, M. E. et al. Evaluation of the oil extract from *Mentha spicata* and its chemical constituents. **International Journal of Sciences and Research**, Nigeria, v. 74, n. 11/1, nov. 2018.

ONU. **Transformando nosso mundo**: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Unic Rio, 49 f, out. 2015.

ORIOLA, A. O.; KAR, P. Naturally occurring xantones and their biological implications. **Molecules**, [s.l.], v. 29, n. 17, p. 4241(1)-4241(26), set. 2024.

QURAISHI, M. A.; FAROOQI, I. H.; SAINI, P. A. Natural compounds as corrosion inhibitors for highly

cycled systems. **Corrosion 99.** Association for Materials Protection and Performance. Texas, p. 1-7, abr. 1999.

RAMALHO, L. C. A importância da química aplicada em processos de decapagem com ácido clorídrico em aço carbono e tratamento dos resíduos gerados na indústria automobilística. 51 f. TCC (Bacharelado) - Curso de Química, Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, 2023.

ROSA, C. H. Adsorventes para fenol em meio aquoso: o uso de caule de milho como template porogênico. 46 f. TCC (Bacharelado) - Curso de Química, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SANJUAN, M. E. C. et al. Maresia: Uma proposta para o ensino de eletroquímica. **Química Nova na Escola**, [s.l.], v. 31, n. 3, p. 190-197, ago. 2025.

SANTOS, R. O. V. Estudo de análise comparativa de custos para substituição de tecnologia do fosfato de zinco para a de nanocerâmico (com possibilidade de redução de resíduos sólidos). 78 f. TCC (Bacharelado) – Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Betim, 2020.

SESSA, R. et al. Natural polyphenols and the corrosion protection of steel: recent advances and future perspectives for green and promising strategies. **Metals**, [s.l.], v. 13, n. 6, p. 1070(1)-1070(27), jun. 2023.

SILVA, A. L. et al. Determinação de catequinas por eletrodo de carbono impresso modificado com nanotubo de carbono funcionalizado. **Ecletica Química**, [s.l.], v. 40, n. 1, p. 52-61, set. 2016.

SIMÕES, C. M. O. et al. **Farmacognosia:** da planta ao medicamento. 6^a Edição, 1104 p. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC. 2007.

SRIVASTAVA, R. K. et al. Characteristics of menthol mint *Mentha arvensis* cultivated on industrial scale in the IndoGangetic plains. **Industrial Crops and Products**. Amsterdam, v. 15, [s.n.], p.189-198, 2002.

UNITED NATIONS. **United Nations conference on the human environment, Stockholm, 5-16 June 1976.** New York, 1973.