COMPARAÇÃO DE ÓLEOS NATURAIS NA PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO DA SUPERFÍCIE DO CHUMBO

Autores: Leonardo Henrique do Nascimento[1]* e Liu Yao Cho[2]

[1,2]FEAU e Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, leonardojac37@gmail.com[1] e liu@univap.br[2]

Resumo

Este estudo avaliou a proteção anticorrosiva do chumbo por meio de pré-tratamentos com óleos vegetais, comparando-os com um inibidor comercial. O chumbo, amplamente utilizado em baterias, apresenta riscos ambientais e à saúde devido à sua toxicidade e corrosão em ambientes aquosos. Como alternativa sustentável, foram selecionados óleos de café, cravo e orégano, ricos em compostos antioxidantes como polifenóis, tocoferóis e eugenol. As amostras de chumbo foram polidas e submetidas a ensaios eletroquímicos de potencial de circuito aberto e polarização potenciodinâmica, além de análises morfológicas por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram elevada eficiência dos óleos naturais, especialmente cravo e orégano, que atingiram valores próximos a 100% de eficiência de proteção, superando o inibidor comercial. O mecanismo de proteção dos óleos indica ser por barreira física hidrofóbica, diferente do inibidor comercial que atua na inibição por quimissorção. Assim, a combinação de inibidores naturais demonstrou ser uma estratégia promissora, sustentável e de baixo custo para mitigar a corrosão do chumbo.

Palavras-chave: Corrosão. Óleos vegetais. Inibidores. Chumbo

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra, Química.

Introdução

O chumbo é amplamente utilizado em baterias e outros setores industriais, mas sua toxicidade representa sérios riscos ambientais e a saúde humana (Pure Earth, 2026), especialmente pela liberação de íons Pb^{2+} durante processos de corrosão, tornando essencial o desenvolvimento de estratégias de sua mitigação. Seus impactos já foram amplamente documentados, como Needleman (2004) descreve em relação a intoxicação crônica e seus efeitos neurológicos. Apesar de métodos convencionais de proteção, com uso de ortofosfatos, apresentarem eficácia, eles demandam monitoramento constante, custos elevados e geram resíduos poluentes.

Neste contexto, segundo a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO, 2008), a corrosão é responsável por elevados custos de manutenção e substituição de materiais, o que justifica a busca por alternativas mais sustentáveis. Óleos vegetais ricos em polifenóis, taninos e vitaminas antioxidantes demonstram capacidade de formar barreiras protetoras contra a corrosão, reduzindo a dissolução eletroquímica dos metais, reforçando assim seu caráter sustentável pelo reaproveitamento de resíduos agroindustriais, conforme apontado pela EPAMIG (2023). A escolha destes óleos vegetais se baseou em sua reconhecida atividade antioxidante, conforme descrito por Raja e Sethuraman (2008) e Verma et.al. (2019), que destacaram o potencial dos polifenóis e taninos como inibidores verdes de corrosão.

A análise seguiu protocolos semelhantes ao de Pires et al. (2018). Essa metodologia foi inspirada nos trabalhos de Lamy-Mendes et al. (2014), que demonstraram a viabilidade de formação de filmes condutores aderentes para proteção anticorrosiva. Pesquisas recentes, como as da Univates (2026), também exploram eletrodos porosos para aplicações energéticas, mostrando que a busca por materiais mais eficientes e sustentáveis é uma tendência transversal.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia da proteção anticorrosiva do chumbo por meio de pré-tratamentos com óleos vegetais de reconhecida atividade antioxidante, comparando os resultados com um inibidor convencional disponível no mercado.

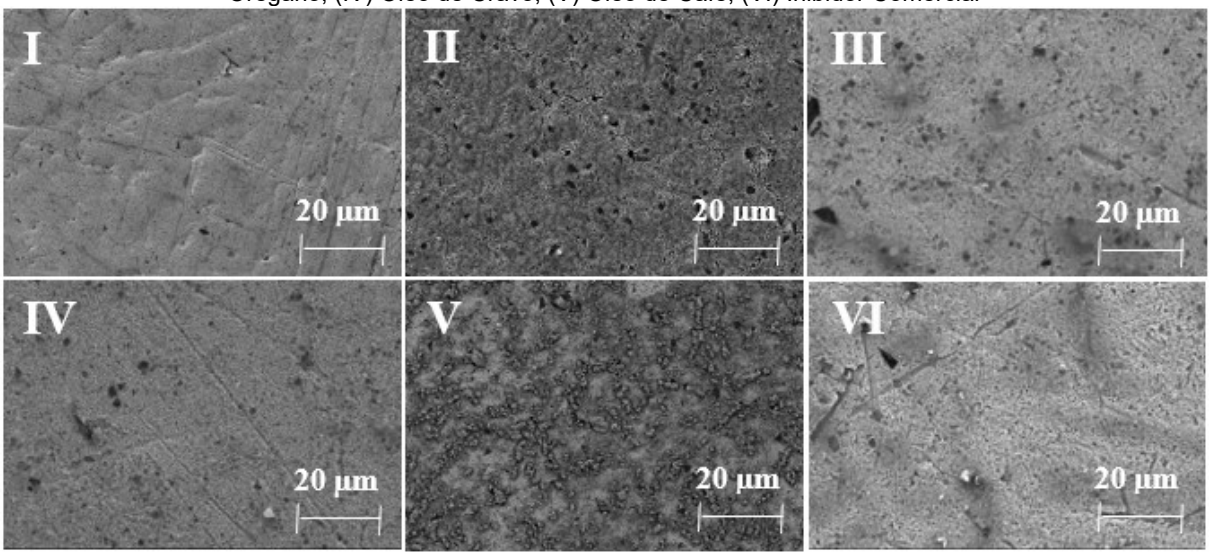
Metodologia

Para a realização do projeto, foram utilizados discos de chumbo de 0,53 cm^2 de área como substrato metálico, aproximadamente 300mL de solução de NaCl 0,10 $mol.L^{-1}$ como eletrólito corrosivo para cada ensaio, além de óleos vegetais de café, cravo e orégano. Cada ensaio foi realizado em temperatura ambiente. O inibidor comercial foi empregado como comparativo e o chumbo apenas polido como referência. Os discos de chumbo foram submetidos a polimento mecânico com lixas de granulometria crescente (320, 400, 600, 800, 1200) seguido de polimento em feltro com alumina visando a remoção de óxidos superficiais e garantindo uniformidade da superfície, onde foi feito seu polimento de forma circular com intervalos de 2 minutos entre cada polimento e sempre lavando a amostra com água corrente. Esse procedimento foi adotado para evitar interferências de camadas passivas pré-existentes, conforme a metodologia descrita por Sadek et al. (2010).

O comportamento anticorrosivo foi avaliado por meio de ensaios eletroquímicos com um Potenciostato/Galvanostato da Metrohm (modelo AUTOLAB PGSTAT302N) contendo um sistema com célula de três eletrodos: Ag/AgCl como eletrodo de referência; bastão de platina como eletrodo auxiliar e disco de chumbo com 0,53 cm^2 de área exposta como eletrodo de trabalho. Metodologias semelhantes de caracterização eletroquímica foram descritas em trabalhos acadêmicos da PUC-Rio (2026), reforçando a validade dos procedimentos adotados. O programa utilizado para a obtenção dos dados foi o NOVA 2.1, e seu tratamento foi feito pelo Origin 10.0. O potencial de circuito aberto (OCP) foi monitorado até a estabilização (30 minutos), permitindo avaliar o equilíbrio eletroquímico da superfície. Os ensaios de polarização potenciodinâmica foram realizados no tempo de 40 minutos com uma janela de potencial de -1,0 V a +1,2 V na velocidade de 1 $mV.s^{-1}$ para obtenção das curvas de Tafel, das quais foram extraídos parâmetros como potencial de corrosão (E_{corr}), densidade da corrente de corrosão (J_{corr}) e eficiência de proteção. As superfícies antes e após os ensaios foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da ZEISS (modelo EVO MA 10), permitindo observar alterações morfológicas e a formação de filmes protetores. Essa técnica foi utilizada como complemento as análises eletroquímicas, conforme abordagem descrita por Mícoli e Furtado (2024).

Resultados

Figura 1 – Amostras do experimento: (I) Disco de Chumbo polido, (II) Chumbo após polarização, (III) Óleo de Orégano, (IV) Óleo de Cravo, (V) Óleo de Café, (VI) Inibidor Comercial



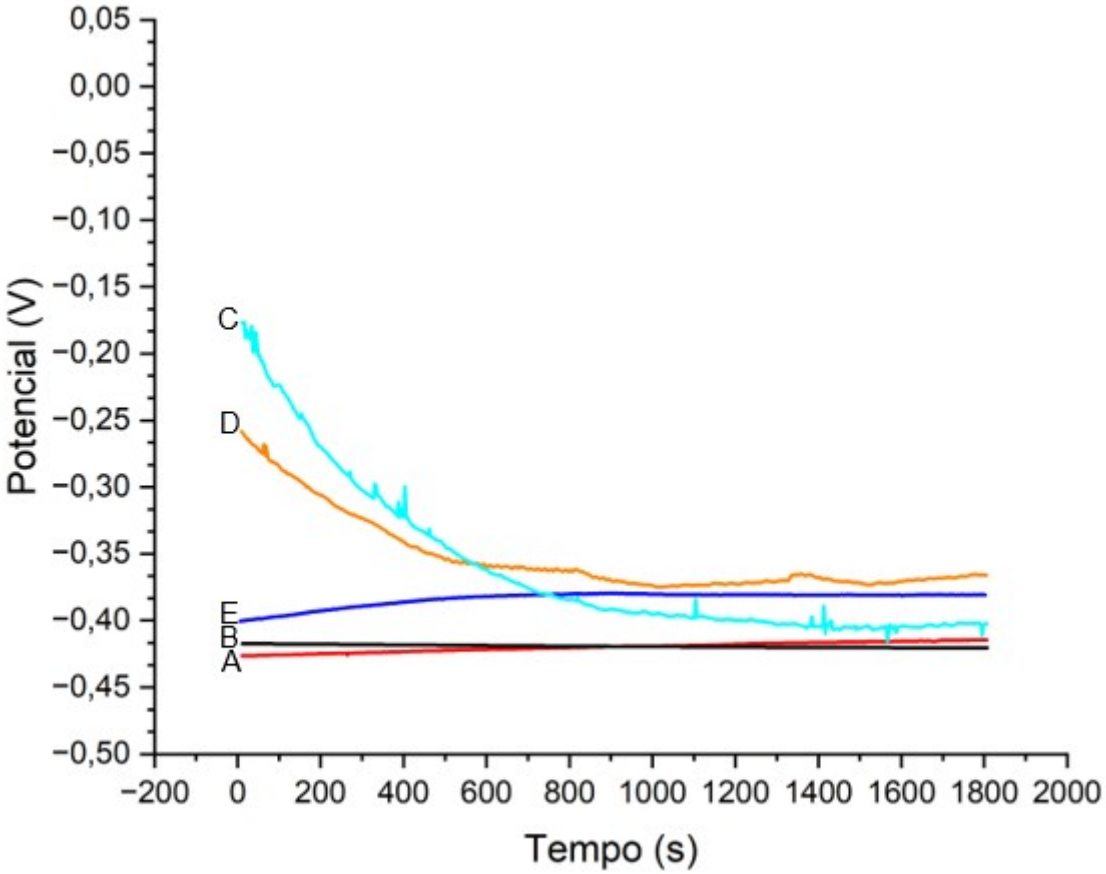
Fonte: elaborado pelo Autor.

Após a realização do experimento e submetido a análise dos discos por MEV, foi feito um comparativo entre as imagens obtidas, onde as imagens I e II correspondem ao disco de chumbo antes da polarização e após a polarização, sem a proteção dos inibidores, que é evidente como houve a corrosão do chumbo, pequenos pites são observados ao longo da superfície. Já nas imagens III, IV e V observou-se os discos com os óleos de orégano, cravo e café, respectivamente, onde é possível ver

que os óleos de orégano e cravo possuem uma morfologia regular sem pites, após a polarização, o que demonstra uma atividade inibidora, e permite uma proteção da superfície das amostras de chumbo, porém o disco com óleo de café teve sua superfície formada por vários grumos irregulares, possível ataque e interação com os íons cloretos do meio corrosivo na superfície. Na imagem VI observa-se o disco com inibidor comercial, onde a superfície está totalmente tomada por irregularidades com aspecto poroso, visualmente sofreu uma corrosão e talvez uma passivação significativa do disco, visto que não possui formação de pites de corrosão como na amostra II.

Realizou-se a análise do gráfico das curvas de OCP, para cada amostra de chumbo, onde foi comparado com a amostra padrão (somente chumbo polido) e os demais discos contendo os óleos essenciais e com o inibidor comercial afim de esclarecer o comportamento da corrosão.

Figura 2 – OCP das amostras, onde: (A) Disco de Pb padrão, (B) Inibidor Comercial, (C) Óleo de Orégano, (D) Óleo de Cravo e (E) Óleo de Café.

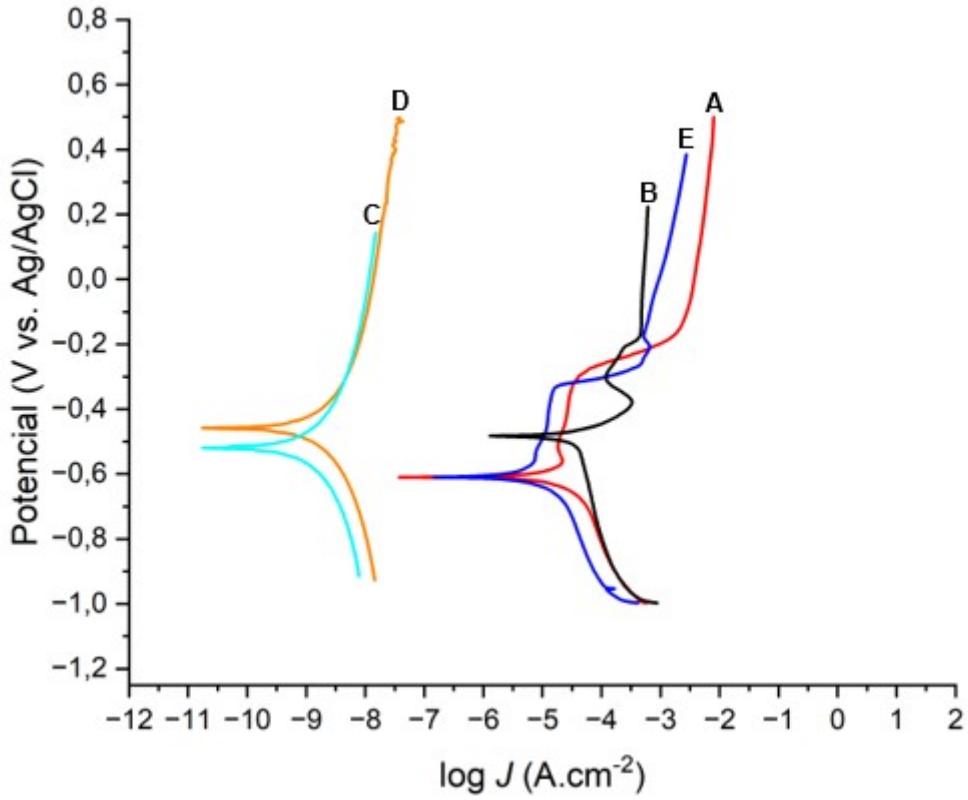


Fonte: elaborado pelo Autor.

Na figura 2, a análise da curva da amostra padrão (curva A) e do inibidor comercial (curva B), foi possível ver que estão praticamente unidas uma à outra, indicando um equilíbrio dinâmico parecido para as duas amostras, porém a curva A possui uma leve tendência positiva do potencial ao final e a curva B tendência negativa, indicando que houve a formação de um filme estabilizado (possivelmente passivação) e uma possível degradação, respectivamente. Já para as amostras com óleos essenciais, observa-se um comportamento variado, onde as curvas C (óleo de orégano) e D (óleo de cravo) apresentaram um decaimento exponencial até estabilização. Na curva E (óleo de café) apresentou uma tendência no sentido positivo do potencial e se estabilizando em quase toda a leitura da OCP. As curvas mostraram que praticamente houve estabilização do potencial nas superfícies estudadas, em cerca de 900 segundos, após início da análise. Isso pode indicar estabilização eletroquímica das interfaces, possível formação de uma película passiva e menor tendência termodinâmica à corrosão para potenciais maiores.

Após os ensaios de OCP, foram realizados os ensaios de polarização potenciodinâmica, nas quais foram obtidas as curvas de Tafel, que foram importantes para levantar os dados e parâmetros eletroquímicos da capacidade protetiva dos óleos e do inibidor comercial.

Figura 3 – Curvas de Tafel das amostras, onde: (A) Disco de Pb padrão, (B) Inibidor Comercial, (C) Óleo de Orégano, (D) Óleo de Cravo e (E) Óleo de Café.



Fonte: elaborado pelo Autor.

Os dados do potencial de corrosão, E_{corr} e de densidade de corrente de corrosão, J_{corr} listados na tabela 1 foram obtidas através das curvas de Tafel da figura 3. A eficiência de proteção contra a corrosão foi calculada utilizando-se o padrão, superfície do chumbo polido, como referência.

Tabela 1 – Parâmetros Eletroquímicos e eficiência da proteção contra corrosão.

Experimento	Potencial de Corrosão, E_{corr} (V)	Log J	Densidade da Corrente de Corrosão, J_{corr} ($A.cm^{-2}$)	Eficiência da proteção contra a Corrosão (%)
Superfície do Chumbo	-0,610	-5,06	$8,71\times10^{-6}$	0
Óleo de Café	-0,608	-5,50	$3,16\times10^{-6}$	63,70
Óleo de Cravo	-0,457	-9,01	$9,77\times10^{-10}$	99,98
Óleo de Orégano	-0,518	-9,33	$4,68\times10^{-10}$	99,99
Inibidor Comercial	-0,488	-5,05	$8,79\times10^{-6}$	-0,92

Fonte: elaborado pelo Autor.

Os dados de eficiência da proteção contra a corrosão mostraram que os resultados seguem a ordem: óleo de orégano ~ óleo de cravo > óleo de café > chumbo polido > inibidor comercial. Com

relação ao potencial de corrosão, E_{corr}, foi observado a seguinte sequência decrescente nos potenciais: óleo de cravo > inibidor comercial > óleo de orégano > óleo de café ~ superfície polida.

Discussão

Os resultados mostraram que óleos ricos em fenóis ativos (cravo e orégano) apresentaram eficiência próxima de 100%, superando as demais amostras, estando em consonância com Pires et al. (2018) que destacaram a atividade antifúngica associada a presença de compostos fenólicos como o carvacrol. Já o óleo com predominância de ácido graxos e menor teor de compostos antioxidantes (café) teve desempenho moderado (63,70%). Embora Micoli e Furtado (2024) tenham obtido menor eficiência com os óleos de cravo e orégano e maior eficiência com os óleos de uva e café, neste estudo o comportamento foi distinto, possivelmente devido a diferença do substrato (chumbo vs. Aço 316L) e a interação específica com íons Pb^{2+}. Isso evidencia que os compostos ativos destes óleos agem de forma diferente de acordo com a composição do substrato metálico. Com relação ao inibidor comercial observa-se um comportamento bem diferente dos óleos, isso ocorre provavelmente devido a sua composição, que pode conter derivados de aminas, polifosfatos e até compostos com enxofre e outros aditivos e agentes dispersantes, ou talvez ocorra a quimissorção destes grupos funcionais, alterando as correntes de corrosão por mecanismos diferentes dos óleos estudados, mostrando que pode ter ocorrido uma interação dos compostos químicos presentes no inibidor comercial com o chumbo, a embalagem não cita os possíveis compostos presentes. O inibidor comercial não apresentou proteção efetiva nas condições avaliadas, sua densidade de corrente de corrosão foi ligeiramente superior ao valor do chumbo sem tratamento, com eficiência negativa de -0,92%. Analisando-se os dados da tabela 1, percebe-se que o potencial de corrosão (E_{corr}) não é suficiente para indicar a proteção, sendo apenas complemento para avaliar a alteração no comportamento eletroquímico, sendo o a densidade de corrente de corrosão (J_{corr}) o parâmetro determinante.

Isso evidencia que a natureza química dos compostos ativos é determinante: fenóis como eugenol, carvacrol e catequinas possuem maior capacidade de interação com a superfície metálica, formando filmes protetores mais estáveis e eficientes contra a corrosão. Os resultados obtidos corroboram com Verma et al. (2019), que destacam os inibidores naturais como alternativas sustentáveis e eficazes frente aos sintéticos, mostrando que se aplicado também a contextos industriais como na utilização dos inibidores em baterias, tubulações e sistemas de água que possuem materiais feitos de chumbo podendo aumentar sua longevidade e diminuir a possível contaminação do metal ao meio ambiente e sua geração de resíduos tóxicos conforme apontado por Raja e Sethuraman (2008), aspecto relevante considerando os impactos ambientais do chumbo descrito pelo CEVS (2006), sendo assim um forte candidato para soluções sustentáveis.

Conclusão

As análises dos dados mostraram que os óleos de orégano e cravo apresentaram o maior efeito inibidor sobre a corrosão do chumbo, promovendo reduções de cerca de 4 ordens de grandeza na densidade de corrente de corrosão em relação à superfície de chumbo não protegida. As eficiências de inibição de 99,99% e 99,98%, demostraram a elevada capacidade desses óleos de retardar os processos eletroquímicos associados à corrosão. O óleo de café apresentou comportamento intermediário, com redução de 63,70% na densidade de corrente de corrosão, enquanto o inibidor comercial não apresentou efeito protetor significativo. Foi notado que os deslocamentos observados nos potenciais de corrosão não foram suficientes para caracterizar a eficiência, sendo a redução da densidade de corrente de corrosão o parâmetro mais representativo da proteção comparativa.

Essa performance evidencia a relevância dos compostos fenólicos e antioxidantes presentes nesses óleos na formação de barreiras protetoras estáveis e eficazes. A composição química de cada óleo influencia diretamente sua capacidade de inibição, sendo os fenóis ativos (como eugenol, carvacrol e catequinas) os principais responsáveis pelos melhores desempenhos.

Esse estudo reforça a viabilidade do uso de inibidores com óleos naturais como alternativa sustentável e de baixo custo frente às soluções convencionais, alinhando-se às demandas atuais por tecnologias verdes.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO – ABRACO. *Intercorr 2008 – Artigo técnico*. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2008/INTERCORR2008_074.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026.

CENTRO ESTADUAL DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE – CEVS. *Chumbo*. Disponível em: https://cevs.rs.gov.br/chumbo. Acesso em: 10 fev. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. *Circular Técnica nº 40*. Belo Horizonte, 2023. Disponível em: https://livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2023/03/CT-40.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

LAMY-MENDES, A. C.; BINDEWALD, E. H.; PAPI, M. A. P.; MARCOLINO-JR, L. H.; BERGAMINI, M. F. Filmes de polipirrol aplicados no desenvolvimento de eletrodos descartáveis seletivos a íons fluoreto. *Polímeros*, v. 24, n. 4, p. 508–513, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/0104-1428.1528.

MÍCOLI, B. de S.; FURTADO, G. C. *Comparação das superfícies de aço 316L pré-tratadas com inibidores de produtos naturais e polipirrol para a proteção contra corrosão*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2024.

NEEDLEMAN, H. Lead poisoning. *Annual Review of Medicine*, v. 55, p. 209–222, 2004.

PIRES, I. C.; et al. Composição química e atividade do óleo essencial de *Origanum vulgare* sobre fungos fitopatogênicos. *Journal of Health Sciences*, v. 20, n. 2, p. 115–123, 2018. Disponível em: https://journalhealthscience.pgsscogna.com.br/JHealthSci/article/download/865/829.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO – PUC-Rio. *Documento acadêmico*. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32706/32706_4.PDF. Acesso em: 12 fev. 2026.

PURE EARTH. *Lead 101*. Disponível em: <https://www.pureearth.org/lead101-2/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

RAJA, P. B.; SETHURAMAN, M. G. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media. *Materials Letters*, v. 62, p. 113–116, 2008.

SADEK, A. Z.; et al. Conducting polymers for corrosion protection. *Progress in Organic Coatings*, v. 69, p. 1–7, 2010.

UNIVATES. Eletrodos porosos de níquel/zinco para produção de hidrogênio por eletrólise da água. Disponível em: https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/504/496. Acesso em: 10 fev. 2026.

VERMA, C.; et al. Green corrosion inhibitors: A sustainable alternative for metal protection. *Journal of Molecular Liquids*, v. 275, p. 1–18, 2019.

Agradecimentos

Autor (1) agradece primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo desta jornada. Expressa profunda gratidão ao seu orientador, Prof. Dr. Liu Yao Cho, pela dedicação, paciência e valiosas contribuições que foram fundamentais para a realização deste projeto. Agradece à minha família, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão em todos os momentos, que o motivaram a seguir em frente mesmo diante das dificuldades. Sem o suporte e a confiança de cada um, este trabalho não teria sido possível. Aos órgãos financiadores de pesquisa CNPQ e FAPESP.