

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
CEARÁ**

**IFCE *CAMPUS* MARACANAÚ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**MESTRADO ACADÊMICO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**JAKSON FERNANDES LIMA**

**PRODUTO ANTICORROSIVO DE BAIXOS CUSTO E ECO-AMIGÁVEL  
APLICADO AO AÇO CARBONO ASTM A178 EM MEIO ÁCIDO**

**MARACANAÚ-CE 2024**

JAKSON FERNANDES LIMA

**PRODUTO ANTICORROSIVO DE BAIXOS CUSTO E ECO-AMIGÁVEL  
APLICADO AO AÇO CARBONO ASTM A178 EM MEIO ÁCIDO**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Mecânica Aplicada a Conservação do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente.

MARACANAÚ

- CE 2024

JAKSON FERNANDES LIMA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Instituto Federal do Ceará- IFCE  
Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- 
- L732p Lima, Jakson Fernandes.  
Produto Anticorrosivo de Baixos Custos e Eco-Amigável Aplicado ao Aço Carbono ASTM A178 em Meio Ácido / Jakson Fernandes Lima. - 2024.  
82 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente.
1. Corrosão. 2. Inibidor de corrosão verde. 3. Aço carbono. 4. Renovável. 5. Baixa Ecotoxicidade. I. Título.

CDD 620.91

---

JAKSON FERNANDES LIMA

PRODUTO ANTICORROSIVO DE BAIXOS CUSTO E ECO-AMIGÁVEL  
APLICADO AO AÇO CARBONO ASTM A178 EM MEIO ÁCIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Energias Renováveis, área de concentração Energias Renováveis.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Marcelo Monteiro Valente Parente (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE *Campus*  
Maracanaú-CE

---

João Carlos da Costa Assunção

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE *Campus*  
Maracanaú-CE

---

Luiz Francisco Wemmenson Gonçalves Moura

Universidade Estadual do Ceará - UECE *Campus*  
Fortaleza- CE

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio fundamental nessa empreitada: Rubya, esposa, Ana Clara, Ana Lis e Felipe, filhos, Glória e Jorge irmãos, Maria do Socorro e Luís Fernandes, pais. Sei o tamanho do sacrifício que foi me apoiarem nesse sonho.

Ao meu orientador Marcelo Parente, que é um ser humano espetacular e que se mostrou, diversas vezes, muito compreensível e amigável em todas as situações.

Ao Laboratório de Materiais (LMAT), Laboratório de Inspeção de Falhas (LIAF) e Laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental (LAQAMB), seus coordenadores e bolsistas.

Ao Professor Luis José, do Departamento de Extensão, Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DEPPI), pelo apoio sempre que solicitado.

Ao Laboratório de Biotecnologia e Biologia Molecular da Universidade Estadual do Ceará (LBBM), pela parceria com a Professora Dra. Izabel, Associada da Universidade Estadual do Ceará (UECE), no Departamento de Nutrição, e Coordenadora do Laboratório de Biotecnologia e Biologia Molecular (LBBM). Ao Dr. Luiz Wemmenson, membro do Grupo de Pesquisa Inovação Biotecnológica em Saúde da Universidade Estadual do Ceará (UECE). Ao Dr. João Xavier e doutoranda Ana Paula, ambos pesquisadores do (LBBM).

Ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão da Universidade Federal do Ceará (LPC). Ao Dr. Walney, professor do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (UFC). Ao doutorando Caio e bolsista Denilson, pela parceria e disponibilidade.

Aos nobres professores Dr. Francisco Nélio e Dr. Rodrigo de Freitas, Dr. João Carlos da Costa Assunção, professores do Instituto Federal do Ceará (IFCE) e do Programa de Pós-graduação em Energias Renováveis (PPGER).

Aos meus parceiros e amigos do apartamento 201, Wemmenson e Ismael, pelas muitas noites de conversas e cumplicidade sobre assuntos acadêmicos, pessoais e profissionais.

“Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo que o cerca e chama essa aventura de Ciência” (*Edwin Hubble*).

## RESUMO

A corrosão é um processo natural que acomete vários tipos de materiais, como: polímeros, principalmente, metais. Esse fenômeno pode ocorrer devido à ação química do meio ambiente agressivo, acarretando muitas perdas em plantas industriais, caldeiras, poços de petróleo, gasodutos, transporte, eletrônica. Esses sofrem com prejuízos diretos e indiretos. O uso de materiais de baixo custo e renováveis são fundamentais para o desenvolvimento de novos inibidores. Assim, o uso da glicerina, que é um subproduto do biodiesel, juntamente com o propilparabeno, que é um conservante popular de baixo custo, foram usadas como inibidores de corrosão de baixo impacto ambiental, sendo o propilparabeno, até então, não reportado na literatura com essa finalidade. O carvão ativado é usado a muito tempo com a finalidade de filtrar substâncias em efluentes, e foi usado para tratar o efluente e separar a matéria prima da composição anticorrosiva desenvolvida na presente pesquisa. O inibidor comercial à base de nitrato de sódio foi usado como controle positivo em todos os ensaios. Foram feitos: ensaios gravimétricos, seguindo as orientações das normas ASTM G 31/21; ensaios eletroquímicos de polarização e espectroscopia de impedância; e teste de ecotoxicidade com Zebrafish, seguindo as diretrizes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Foram usados como corpo de prova um material constituído de aço ASTM A178 em meio ácido. Os resultados mostraram que a composição anticorrosiva renovável, contendo a glicerina e propilparabeno, nas proporções de  $5\text{g/L}^{-1}$  e  $0,5\text{g/L}^{-1}$  respectivamente, foram superiores em sua função de reduzir a perda de massa com eficiência de inibição superiores cerca de 97% frente ao inibidor comercial, que reduziu apenas 66,7% no ensaio de 192 horas de imersão. Os ensaios eletroquímicos de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica corroboram com os resultados obtidos no ensaio de perda de massa, com destaque para a espectroscopia de impedância que foram realizadas com o mesmo tempo de imersão dos ensaios gravimétricos, cuja composição anticorrosiva dentro do sistema mostrou uma maior resistência à corrosão nas primeiras 96 horas. A análise da ecotoxicidade frente ao modelo utilizado, da solução anticorrosiva com o tratamento usando o carvão ativado não apresentou toxicidade significativa. A partir dos resultados obtidos, a solução anticorrosiva apresentou um grande potencial para ser aplicada em caldeiras, em banhos de decapagem ácida com ácido clorídrico, tubulações de aço carbono e poços de recuperação de petróleo e gás.

**Palavras-chave:** Corrosão. Inibidor de corrosão verde. Aço carbono. Renovável. Baixa Ecotoxicidade.

## ABSTRACT

Corrosion is a natural process that affects various types of materials, such as: polymers, mainly metals. This phenomenon can occur due to the chemical action of the aggressive environment, causing many losses in industrial plants, boilers, oil wells, gas pipelines, transport, electronics. They suffer direct and indirect losses. The use of low-cost and renewable materials is essential for the development of new inhibitors. Thus, the use of glycerin, which is a by-product of biodiesel, together with propylparaben, which is a popular low-cost preservative, were used as corrosion inhibitors with low environmental impact, with propylparaben, until then, not reported in the literature. for this purpose. Activated carbon has long been used for the purpose of filtering substances in effluents, and was used to treat the effluent and separate the raw material from the anticorrosive composition developed in the present research. The commercial inhibitor based on sodium nitrate was used as a positive control in all assays. The following were carried out: gravimetric tests, following the guidelines of ASTM G 31/21; electrochemical polarization tests and impedance spectroscopy; and ecotoxicity testing with Zebrafish, following the guidelines of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). A material consisting of ASTM A178 steel in an acidic environment was used as a test specimen. The results showed that the renewable anticorrosive composition, containing glycerin and propylparaben, in proportions of 5g/L-1 and 0.5g/L-1 respectively, were superior in their function of reducing mass loss with inhibition efficiency superior to approximately 97% compared to the commercial inhibitor, which reduced only 66.7% in the 192-hour immersion test. The electrochemical polarization tests and electrochemical impedance spectroscopy corroborate the results obtained in the mass loss test, with emphasis on the impedance spectroscopy that were carried out with the same immersion time as the gravimetric tests, whose anticorrosive composition within the system showed a greater resistance to corrosion in the first 96 hours. The analysis of ecotoxicity in relation to the model used, of the anticorrosive solution with the treatment using activated carbon did not show significant toxicity. Based on the results obtained, the anticorrosive solution showed great potential for application in boilers, in acid pickling baths with hydrochloric acid, carbon steel pipes and oil and gas recovery wells.

**Keywords:** Corrosion. Green corrosion inhibitor. Carbon steel. Renewable. Low Ecotoxicity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Estrutura de caldeiras, corrosão e incrustações de tubos.....	15
Figura 2 — Estrutura molecular da glicerina vegetal.....	16
Figura 3 — Estrutura molecular do ácido P-hidroxibenzóico.....	17
Figura 4 — Representação do filtro de carvão ativado.....	17
Figura 5 — Resumo gráfico da composição anticorrosiva e seu tratamento com filtro de carvão ativado.....	17
Figura 6 — Estrutura de caldeiras com tubos de aço carbono: (A) 15 toneladas, (B) 10 toneladas.....	21
Figura 7 — Estrutura molecular da glicerina.....	32
Figura 8 — Estrutura moleculares do ácido P-hidroxibenzóico e derivados parabenos.....	32
Figura 9 — Filtro de carvão ativado.....	33
Figura 10 — Tubo ASTM A178.....	34
Figura 11 — Cortadora metalográfica CM80.....	35
Figura 12 — Corpo de prova usado no teste de perda de massa.....	35
Figura 13 — Eletrodo de trabalho.....	36
Figura 14 — Sistema dos corpos de prova imersos.....	37
Figura 15 — Limpeza dos corpos de prova.....	37
Figura 16 — Busca nos principais indexadores.....	40
Figura 17 — Potenciostato / galvanostato Autolab modelo PGSTAT302N da Metrohm....	44
Figura 18 — Célula de polarização composta por três eletrodos.....	44
Figura 19 — Modelo de teste com Zebrafish.....	46
Figura 20 — Perda de massa solução em Branco, Propilparabeno (0,5g e 1g), glicerina (5g) .....	49
Figura 21 — Perdas de massa Relativa dos corpos de prova de aço carbono ASTM A178 na ausência e na presença dos inibidores Comercial e a Composição Anticorrosiva em meio ácido HCl 0,1M.....	50
Figura 22 — Processo de limpeza dos corpos de prova.....	52
Figura 23 — Corpos de prova após ensaios de imersão de 192 horas: (A) Branco horas, (B) Inibidor Comercial, (C) Inibidor renovável.....	53
Figura 24 — Isoterma de Langmuir do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações.....	54
Figura 25 — Isoterma de Freundlich do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações .....	54

Figura 26 — Isoterma de Temkin do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações.....	55
Figura 27 — Curvas de polarização solução em Branco(A).....	56
Figura 28 — Curvas de polarização Inibidor Comercial(B).....	57
Figura 29 — Curvas de polarização Composição Anticorrosiva(C).....	57
Figura 30 — Compilado dos sistemas de polarização “A” Tafel.....	58
Figura 31 — Compilado dos sistemas de polarização“B” Sem a extrapolação de Tafel.....	59
Figura 32 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (A) na ausência de inibidor.....	60
Figura 33 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (B) na presença do inibidor Comercial.....	61
Figura 34 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (C) na presença da composição anticorrosiva.....	61
Figura 35 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (A) 0 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	62
Figura 36 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (B) 24 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	63
Figura 37 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (C) 48 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	63
Figura 38 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (D) 48 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	64
Figura 39 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (E) 168 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	64
Figura 40 — Diagrama de Nyquist para o aço carbono ASTM A 178 em HCl 0,1mol.L <sup>-1</sup> comparando recorte em (F) 192 horas, (Branco), (I.C) e (C.A).....	65
Figura 41 — Corrente de corrosão dos sistemas Composição Anticorrosiva (C.A), Inibidor Comercial (I.C) e solução em Branco.....	67
Figura 42 — Capacitância da dupla camada dos sistemas em estudo.....	68
Figura 43 — Análise de sobrevivência total em porcentagem, inibidor comercial e composição anticorrosiva SEM tratamento e COM tratamento.....	70
Figura 44 — Comparação das curvas de Kaplan-Meier da Composição Anticorrosiva (C.A) e Inibidor Comercial (I.C) .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Composição Química do aço carbono ASTM A-178.....	34
Tabela 2 — Valores da constante de corrosão (K).....	38
Tabela 3 — Principais artigos selecionados.....	40
Tabela 4 — Avaliação do pH das soluções dos sistemas.....	50
Tabela 5 — Avaliação do pH das soluções SEM os corpos de prova.....	50
Tabela 6 — Parâmetros de perda de massa para o aço carbono ASTM A178 imerso em HCl 0,1 mol.L <sup>-1</sup> em função do tempo de imersão.....	51
Tabela 7 — Parâmetros de impedância para o aço carbono ASTM A178 imerso em HCl 0,1 mol.L <sup>-1</sup> em função do tempo.....	66
Tabela 8 — Número de mortos do teste de ecotoxicidade.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CA	Composição Anticorrosiva
CAAE	Certificado de Apresentação e Apreciação Ética
EIE	Espectroscopia de Impedância Eletroquímica
g/m <sup>2</sup> .h	Gramas por metro quadrado por hora
HCl	Ácido Clorídrico
IC	Inibidor Comercial
Ipy	Polegadas por ano
Mdd	Miligramas por decímetro quadrado por dia
mm/y	Milímetros por ano
Mpy	Milésimos de polegadas por ano
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OCP	Potencial de Circuito Aberto
pm/s	Picômetros por segundo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PP	Polarização Potenciodinâmica
TG	Technical Glycerin

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE AÇO CARBONO .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1</b>	Objetivo Geral.....	22
<b>1.3.2</b>	Objetivos Específicos .....	22
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Corrosão No Meio Industrial.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	Meios Corrosivos .....	25
<b>2.3</b>	Inibidores De Corrosão.....	25
<b>2.3.1</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES QUANTO AO MECANISMO DE PROTEÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.1</b>	Inibidores Anódicos .....	27
<b>2.3.1.2</b>	Inibidores Catódicos.....	28
<b>2.3.1.3</b>	Inibidores De Adsorção .....	28
<b>2.3.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES QUANTO À SUA NATUREZA QUÍMICA .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2.1</b>	Inibidores Inorgânicos .....	29
<b>2.3.2.2</b>	Inibidores Orgânicos Naturais Ou Inibidores Verdes .....	29
<b>2.3.2.2.1</b>	Inibidores De Corrosão Verdes Contendo Glicerina.....	30
<b>2.3.2.2.2</b>	Sistemas Experimentais Iniciais.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>

3.1	Insumos Da Composição Anticorrosiva.....	31
3.2	Filtro De Carvão Ativado .....	33
3.3	<b>SELEÇÃO E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA .....</b>	<b>33</b>
3.3.1	<b>Material .....</b>	<b>33</b>
3.4.1	Preparo Dos Corpos De Prova.....	34
3.4.1.1	Corpos De Prova A Serem Utilizados Nos Ensaios De Perda De Massa .....	34
3.4.1.2	Corpos De Prova A Serem Utilizados Nos Ensaios Eletroquímicos .....	35
3.5	Ensaio De Perda De Massa.....	36
3.6	Pesquisa nos Indexadores .....	39
3.7	Isotermas De Adsorção.....	43
3.8	Ensaios Eletroquímicos .....	43
3.8.1	Espectroscopia De Impedância Eletroquímica (EIE).....	45
3.9	Ensaio De Ecotoxicidade Em Zebrafish.....	45
3.10	Sistema De Filtro De Carvão Ativado.....	46
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>47</b>
4.1	Análises De Ph Das Soluções De Inibidores .....	47
4.2	Ensaios De Perda De Massa .....	48
4.3	Isotermas De Adsorção.....	53
4.4	Ensaios Eletroquímicos .....	55
4.5	Ensaio De Potencial De Circuito Aberto (OCP).....	55
4.6	Polarização Potenciodinâmica (PP) .....	56
4.7	Espectroscopia De Impedância Eletroquímica (EIE).....	59
Tempo	Sem Inibidor Composição Anticorrosiva Inibidor Comercial .....	66
4.8	Ensaio De Ecotoxicidade Em Zebrafish.....	68
5	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>71</b>

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO A - CERTIFICADO DE GARANTIA DA QUALIDADE DO AÇO UTILIZADO.....</b>	<b>78</b>
	<b>ANEXO B - CERTIFICADO DE COMITÊ DE ÉTICA PARA O USO DE ANIMAIS DA UNIVERSIDA DE ESTADUAL DO CEARÁ. ....</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO C - CERTIFICADO DE GARANTIA DA QUALIDADE DO AÇO UTILIZADO.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo natural que acomete vários tipos de materiais, sejam eles metálicos ou não. São exemplos de materiais passíveis de corrosão: concreto, madeira, borracha, dentre outros. Esse fenômeno pode ocorrer devido à ação química do meio ambiente agressivo, ou pelo material, acarretando muitas perdas, principalmente a corrosão em plantas industriais, caldeiras, poços de petróleo, gasodutos, transporte, eletrônica, que sofrem com prejuízos diretos e indiretos (GENTIL, 2017).

Os valores da corrosão são em torno de 3,5 % do Produto Interno Bruto dos países industrializados. Um estudo feito na China avaliou o prejuízo causado pela corrosão: no ano de 2017, com um custo de 310 bilhões de dólares por ano, mostrou o quanto a corrosão é prejudicial a uma das maiores economias mundiais atuais (HOU *et al.*, 2017). A figura 01 detalha a estrutura de uma caldeira e exemplos de tubos corroídos e incrustados.

Figura 1 — Estrutura de caldeiras, corrosão e incrustações de tubos



Fonte: <https://create.vista.com/pt/unlimited/stock-photos/234137684/stock-photo-fragments-old-large-water-pipes/>(2023).

Desde então, várias empresas do setor industrial e universidades públicas e privadas fazem investimentos em pesquisas, a fim de produzirem novos produtos para amenizar esse problema, como o uso de anticorrosivos sintéticos, que, na sua grande maioria, são agressivos ao meio ambiente, por conterem em suas composições metais pesados e outros bioacumulativos, mas que apresentam um custo elevado e são agressivos ao meio ambiente e aos seres que se encontra nele (KOBZAR; FATYEYEVA, 2021).

Os bioinibidores ou inibidores verdes são uma alternativa para a substituição de inibidores convencionais a base de metais pesados e biocumulativos. A glicerina obtida como subproduto na produção de biodiesel tem uma grande demanda, atualmente, e

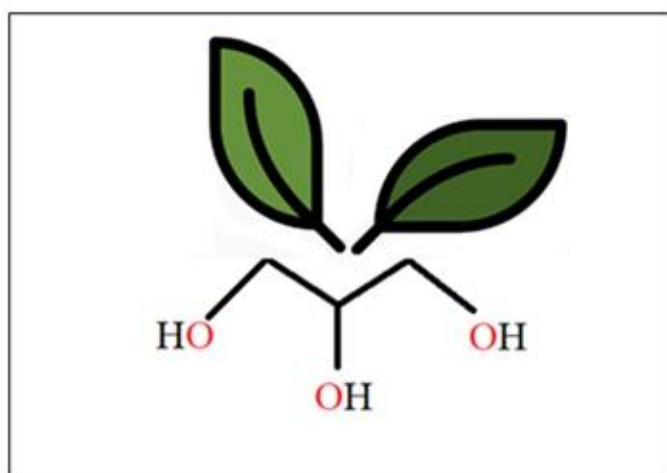


pode trazer inúmeros benefícios econômicos e ambientais por se tratar de uma matéria-prima amigável ao meio ambiente (ZHANG *et al.*, 2022).

Matérias-primas de fontes renováveis vem sendo testada como uma alternativa viável a ser estudada como inibidor de corrosão menos agressivo ao meio ambiente. Neste contexto, a glicerina pode vir a ser uma fonte de baixo custo, agregando valor quando associada à produção de inibidores de corrosão aplicadas ao setor industrial (ZUBAIDI *et al.*, 2016).

Na figura 02 pode ser observada a representação estrutural desse composto formado por três carbonos, oito hidrogênios e três oxigênios. Segundo a IUPAC, é denominado de propane-1,2,3-triol, tem densidade 1,26 g/cm<sup>3</sup> e ponto de ebulição se encontra a 290°C.

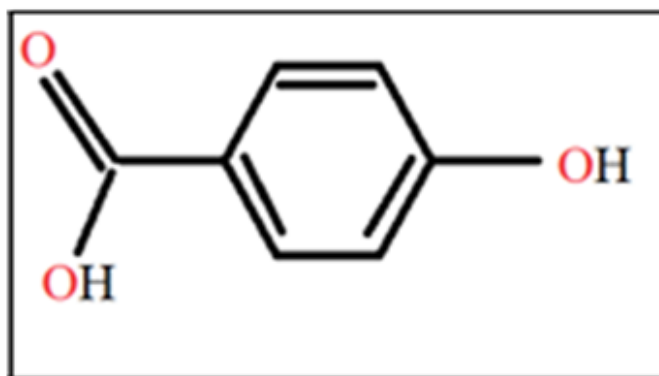
Figura 02 — Estrutura molecular da glicerina vegetal



Fonte: O autor (2023).

Os compostos do grupo parabeno (metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno e butilparabeno), com destaque para o metilparabeno e o propilparabeno, são usados a mais de cinco décadas como conservantes de cosméticos, farmacêuticos e alimentos, na indústria, por suas características antifúngicas e bactericidas (ATLI, 2022). No entanto, não foram investigados como inibidores de corrosão. Os compostos parabenos são sintetizados a partir do ácido P-hidroxidobenzoico, figura 3.

Figura 3 — Estrutura molecular do ácido P-hidroxibenzóico



Fonte: O autor (2023).

Na figura 3 pode ser observada a forma estrutural do ácido para-hidroxidobenzóico, que apresenta sete carbonos, seis hidrogênios e três oxigênios. Ele é isômero do ácido salicílico e seus ésteres são os parabenos.

O uso de carvão ativado para separar e filtrar materiais é usado desde a segunda guerra mundial, quando foi usado para reter gases tóxicos. Hoje, é muito utilizado para tratar esgotos, removendo poluentes, devido seu alto poder de adsorção, funcionando como uma esponja (DE MEDEIROS MORAIS *et al.*, 2019).

Figura 4 — Representação do filtro de carvão ativado



Fonte: O autor (2023).

Na figura 4 pode ser observada a representação do filtro de carvão, largamente utilizado para reter impurezas e outros materiais.

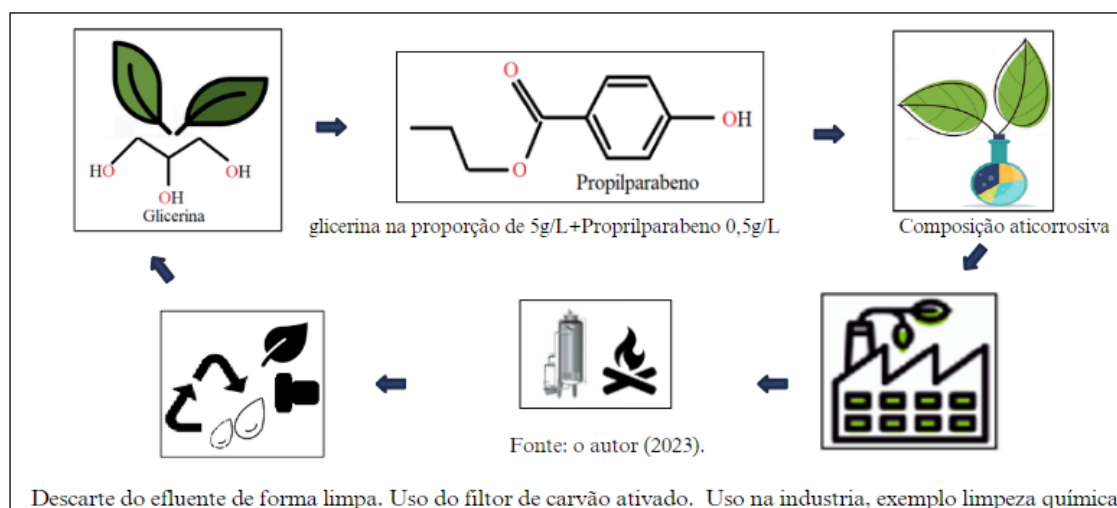
Visando contribuir com a obtenção de inibidores de corrosão de baixo impacto ambiental, este estudo teve como finalidade avaliar uma composição anticorrosiva de glicerina e um conservante do grupo parabeno, no caso o propilparabeno, como inibidor de corrosão para o aço carbono ASTM A178, em meio ácido, fazendo uso de um filtro de carvão ativado para a recuperação da matéria prima e tratamento do seu efluente.

A figura 5 representa um resumo gráfico que mostra, de forma simplificada, todo

o processo, desde o uso da composição anticorrosiva no sistema e seus pós uso, quando a composição é filtrada e o efluente tratado é dispensado no meio. Podem ser observadas as duas matérias primas usadas na composição anticorrosiva, glicerina e propilparabeno. Logo em seguida, uma imagem representando a mistura da composição pronta para o uso. Após aplicação da composição no equipamento, ela é vertida no filtro de carvão e, em seguida, a matéria prima fica retida no filtro e o efluente pode ser dispensado sem prejuízo ao meio ambiente.

Na figura 5 é apresentado de forma simples as etapas do processo de obtenção da composição anticorrosiva, sua aplicação na indústria, logo em seguida é submetido o material de descarte em um filtro com carvão ativado e descartado o efluente sem prejuízo ao meio ambiente.

Figura 5 — Resumo gráfico da composição anticorrosiva e seu tratamento com filtro de carvão ativado



Fonte: O autor (2023).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Há gastos ocasionados pela corrosão e incrustações em maquinários industriais. Assim, é necessário realizar manutenção constantemente em materiais como tubulações de caldeiras, torres de resfriamento, poços de recuperação de petróleo e gás, em destaque para o aço carbono. Isso evita que o meio agressivo provoque a deterioração dos equipamentos de forma rápida, caso não seja tomada medidas para amenizar as perdas.

Uma das medidas mais usadas para abrandar a situação é fazer uso de inibidores de corrosão, que podem ser revestimentos (GRUMO *et al.*, 2023) ou soluções anticorrosivas, com a finalidade de tratar o meio corrosivo.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2020), o Brasil em 2019, teve um gasto de aproximadamente \$ 290 bilhões que é equivalente a 4% do PIB, com manutenção da corrosão. No ano de 2023, foram produzidos um total de mais de 4,5 milhões de barris de óleo e gás por dia de acordo com o boletim da produção de petróleo e gás divulgado pelo ministério de Minas e Energias em dezembro de 2023 segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023). Segundo a NACE, o custo anual total da corrosão na indústria de produção de petróleo e gás é estimado em US\$ 1,372 bilhão. Esse valor pode ser dividido em US\$ 589 milhões, em custos de instalação e dutos de superfície; \$ 463 milhões, anualmente, em despesas com tubos de fundo de poço; e outros US\$ 320 milhões, em gastos de capital relacionados à corrosão e o impacto global da corrosão foi estimado de 2,5 trilhões de dólares em 2013, equivale a 3,5 do PIB global, (NACE, 2016).

Problemas como corrosões, incrustações, depósitos e arrastes de partículas são causados por falta de tratamento na água de alimentação, aumentando o número de manutenções. Limpeza de caldeiras, oleodutos e gasodutos da indústria são fundamentais para garantir o bom funcionamento e produtividade, surgindo um mercado especializado para a limpeza desses equipamentos (DE MELO *et al.*, 2021).

A utilização de ácido clorídrico para a remoção de ferrugem e incrustações é muito comum. Porém, esse processo pode atacar o metal e ocasionar sérios riscos se não forem adicionados inibidores nas soluções para proteger o equipamento. Portanto, é uma importante demanda da indústria.

Existe um elevado número de inibidores no mercado que podem ser classificados como: sintéticos, inorgânicos, orgânicos ou mistos. No entanto, a maioria

são prejudiciais ao meio ambiente. Assim, torna-se necessário a investigação dos efeitos tóxicos, seguindo normas internacionais, para verificar a ecotoxicidade, sendo o peixe zebra um dos modelos vantajosos, largamente utilizado na área biomédica (RIBEIRO *et al.*, 2022).

Esses custos e riscos ambientais podem aumentar ainda mais nos próximos anos, à medida que novas fontes de hidrocarbonetos forem encontradas em ambientes mais desafiadores – reservatórios mais profundos com temperaturas e pressões mais altas e contendo maiores concentrações de gases ácidos.

A ecotoxicidade torna-se fundamental para investigar os efeitos tóxicos de novos inibidores de baixo impacto ambiental com o intuito de substituir inibidores tóxicos, bioacumulativos, carcinogênicos, surgindo, assim, novos inibidores genericamente classificados como verdes.

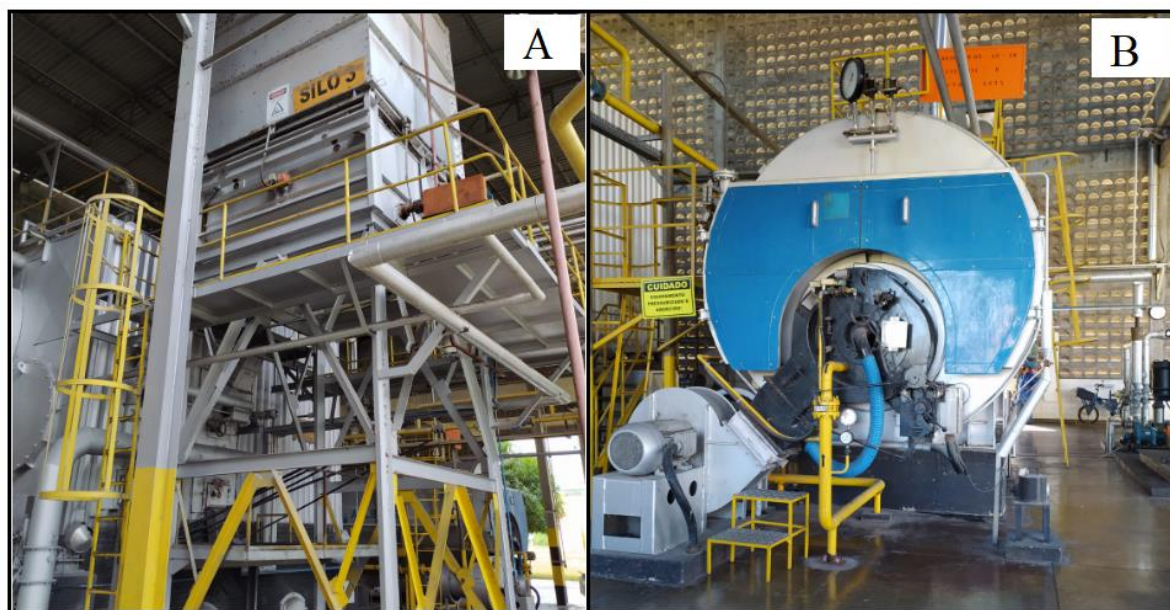
Diante do exposto, o presente trabalho testou uma composição anticorrosiva que compreende glicerina e propilparabeno. Este último, até então, não foi reportado na literatura para essa finalidade – como inibidor de corrosão de baixo impacto ambiental, onde foi constatado como um inibidor de grande eficiência. A composição ainda fez uso de um tratamento contendo carvão ativado, para a recuperação e separação da matéria prima e, conseqüentemente, tratando o efluente, sem prejuízo ao meio ambiente.

## **1.2 CORROSÃO EM EQUIPAMENTOS DE AÇO CARBONO**

Muitos equipamentos industriais têm em suas composições o aço carbono devido às suas qualidades e custo benefício. São exemplos desses equipamentos: caldeiras e trocadores de calor, que fazem uso de uma variedade de aço com uma boa resistência à pressão e calor.

Tubos e dutos utilizados em sistemas de transporte de líquidos, gases e produtos químicos em indústrias como petróleo e gás, química, petroquímica e água e saneamento frequentemente são fabricados com aço carbono devido à sua resistência e durabilidade. Largamente utilizado em edifícios industriais, pontes, plataformas offshore e outras construções, devido à sua resistência e capacidade de suportar cargas pesadas. O aço carbono é amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades mecânicas, facilidade de fabricação, disponibilidade e custo relativamente baixo. Nas figuras abaixo estão exemplos de caldeiras que têm em suas constituições o aço carbono.

Figura 6 — Estrutura de caldeiras com tubos de aço carbono: (A) 15 toneladas, (B) 10 toneladas



Fonte: O autor (2023).

Na figura 6, letra A, trata-se de uma caldeira Alborg de 15 toneladas de vapor por hora. O combustível utilizado é a biomassa. Já na letra B, trata-se de uma caldeira Alborg AR - 4 N de 10 toneladas por hora, que tem como combustível o gás natural, equipamento de uma indústria situada no complexo industrial de Maracanaú-CE.

A indústria petrolífera faz uso de aço carbono em suas linhas de transporte, por conta da combinação de alta resistência, baixo custo e facilidade de fabricação. Contudo, este material é susceptível à corrosão. Estima-se que cerca 30% do aço produzido no mundo é para a reposição de peças no mercado (DE SAMPAIO, 2021). Caldeiras, super aquecedores, são exemplos de equipamentos de custo elevado e o uso de inibidores são fundamentais para as suas vidas úteis.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Produzir uma composição anticorrosiva de baixo custo e baixo impacto ambiental, que compreenda insumos de origem renovável, incluindo um tratamento para seu efluente e recuperação da matéria prima por meio de um filtro de carvão ativado, que possa ser aplicado em caldeiras, tubulações de aço carbono, decapagens químicas e soluções de limpeza química para remoção de incrustações contendo ácido clorídrico.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar o preparo da composição (mistura da glicerina e propilparabeno) anticorrosiva para ser utilizada como inibidor de corrosão em corpos de prova de aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol. L<sup>-1</sup>;
- Investigar a eficiência da composição anticorrosiva por meio do teste gravimétrico em meio ácido, por meio da técnica de perda de massa por imersão ASTM G-31(2021) em HCl 0,1 mol. L<sup>-1</sup>;
- Avaliar a eficiência da composição anticorrosiva em HCl 0,1 mol. L<sup>-1</sup> por meio dos ensaios eletroquímicos de polarização potenciodinâmica, potencial de circuito aberto e impedância eletroquímica;
- Comparar a eficiência da composição anticorrosiva nos ensaios de perda de massa e testes eletroquímicos com um inibidor comercial de baixo impacto ambiental;
- Determinar a toxicidade ambiental utilizando o zebrafish (peixe-zebra) como experimento de ecotoxicidade;
- Fazer uso de carvão ativado para a separação e recuperação da matéria prima usada na composição anticorrosiva;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Corrosão No Meio Industrial

A corrosão é descrita como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio que pode estar associada ou não a esforços mecânicos, pode acometer diversos materiais, tornando-se um problema constante na indústria química, petroquímica, automotiva e alimentícia, causando prejuízos muito elevados (SILVA, 2023).

Um dos setores que apresenta constantes problemas de corrosão é o petrolífero, devido a influência de constituintes dos fluidos de perfuração e da água de produção. Para evitar as perdas dos materiais de elevado uso industrial, são utilizadas técnicas anticorrosivas que incluem a modificação do meio com uso de inibidores, revestimentos, proteção catódica e anódica (FRAUCHES-SANTOS, 2014).

As perdas econômicas causadas pelo processo corrosivo podem ser classificadas em diretas e indiretas. As primeiras são despesas programadas como custos de manutenção, reposição de peças, proteção com revestimentos metálicos e pinturas. As segundas são difíceis de mensurar, pois são os prejuízos causados por paradas inesperadas, acidentes que causam perda de produção e risco aos operários e ao meio ambiente (GENTIL, 2017).

A corrosão pode ser definida basicamente como a deterioração de um metal ou liga, a partir de sua superfície, pelo meio no qual está inserido (SILVA, *et al*, 2015). Inúmeros fatores podem levar ao surgimento da corrosão, e o meio eletroquímico é um deles. Há algumas reações químicas que envolvem transferência de elétrons através de uma interface ou eletrólito, podendo o eletrólito ser solubilizado na água, gerando uma corrente elétrica. Na corrosão eletroquímica, os elétrons são cedidos em determinada região e recebidos em outra, formando uma pilha de corrosão.

Esse processo eletroquímico de corrosão pode ser decomposto em três etapas principais: anódico, que é caracterizado pela passagem dos íons para a solução; deslocamento dos elétrons e íons, caracterizado pela transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas pelo circuito metálico e difusão de ânions e cátions na solução; e processo catódico, caracterizado pela recepção de elétrons, na área catódica, pelos íons ou moléculas existentes na solução (DE OLIVEIRA, 2022).



Como os ácidos residuais, após a decapagem, podem corroer o material metálico, costuma-se adicionar inibidores de corrosão às soluções dos ácidos para evitar o ataque ao aço carbono, após solubilizar o carbonato (GENTIL, 2017).

Os processos eletroquímicos envolvendo o aço carbono, em soluções ácidas, podem ser representados por uma reação anódica de dissolução (Eq. 01) e uma reação catódica correspondente (Eq. 02) (FERNANDES *et al.*, 2021).

O meio ácido acelera o processo corrosivo, provocando uma corrosão do tipo uniforme. Os contaminantes principais são ácidos fracos, como ácido carbônico, e sais que se hidrolisam, produzindo íon H<sup>+</sup>, como cloreto de magnésio, cloreto de cálcio, sulfato de magnésio e cloreto ferroso.

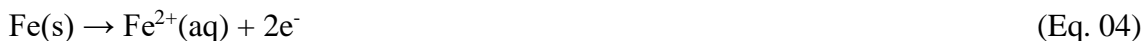
Meio ácido:



Meio ácido aerado:



Meio básico aerado:



Os produtos de corrosão em processos eletroquímicos são formados pela formação de compostos insolúveis entre o íon metálico e o íon hidroxila. Portanto, na maioria dos casos é hidróxido metálico corroído ou óxido metálico hidratado. Esses produtos insolúveis são formados quando o ambiente é neutro ou básico, quando o ambiente é ácido, formam-se sais solúveis como cloretos e sulfatos quando os ácidos são ácido clorídrico e ácido sulfúrico

## 2.2 Meios Corrosivos

O ambiente industrial pode ser muito corrosivo por conta de inúmeros fatores, devido à localização das instalações, por apresentar diferentes concentrações de matérias primas, produtos químicos (GASPARONI, 2020). No caso de equipamentos como uma caldeira, o meio corrosivo vai apresentar uma temperatura mais elevada na parte em contato com a superfície metálica dos tubos. Tal fato pode acarretar uma deposição de produtos dissolvidos na água, como polifosfatos, geralmente usados no tratamento. Estes, por sua vez, formam fosfatos de cálcio que aderem à superfície dos tubos, causando entupimento e reduzindo sua eficiência (CAO; PENG; DENG, 2021).

A água é fundamental em inúmeros processos industriais, considerada um importante meio corrosivo que pode ocasionar diversos prejuízos ao setor industrial, dentre eles: diminuir a capacidade de vazão das tubulações por conta dos depósitos de materiais dissolvidos (MEZAROBBA *et al.*, 2022), aumentando os gastos com limpeza periódica no sistema com uso de desincrustantes.

Aplicação de ácido clorídrico e inibidores de corrosão à base de tiouréia ou derivados de aminados, no caso de sistemas em operação, podem-se usar produtos não ácidos contendo agentes complexantes de ferro, como sais de sódio do ácido etilenodiaminotetracético, agentes dispersantes e tensoativos (GENTIL, 2017), com o intuito de remover materiais indesejados, incrustações e particulados das tubulações de caldeiras e outros equipamentos industriais.

## 2.3 Inibidores De Corrosão

Inibidor é uma substância ou uma composição que, quando presente em concentrações específicas em um ambiente corrosivo, reduz ou controla a corrosão. Substâncias com essas propriedades têm sido amplamente utilizadas como um dos melhores métodos de proteção contra corrosão. Muitos estudos, visando a utilização de novos compostos para essa finalidade, têm atraído diversas indústrias (GENTIL, 2017).

O emprego de inibidores oferece inúmeras vantagens, prolongando a vida útil dos equipamentos. Existem diferentes classificações para os inibidores, que podem ser orgânicas, inorgânicas, baseadas na composição e na forma de atuação. Embora a maioria dos inibidores orgânicos sejam descritos na literatura, a maioria dos inibidores orgânicos são altamente tóxicos para o meio ambiente e muito onerosos para sintetizar, obter ou descartar (WANG *et al.*, 2023).

Para o uso eficiente de inibidores, requer uma minuciosa avaliação, em que se deve levar em conta os seguintes aspectos: identificar a fonte de corrosão dentro do sistema onde o inibidor pode ser aplicado; e avaliar o custo dessa medida. Esta avaliação deve considerar fatores como: se o equipamento terá uma vida útil maior; eliminação de paradas não planejadas; prevenção de acidentes, devido à destruição por corrosão e ausência de contaminação de produtos (DONG, *et al.* 2024).

A preservação da integridade estrutural dos materiais metálicos é de suma importância em uma ampla gama de aplicações industriais. Nesse contexto, os inibidores de corrosão surgem como agentes vitais na mitigação dos efeitos prejudiciais da corrosão. Existem inúmeras classificações para os inibidores que podem ser, de acordo com sua composição: orgânicos ou inorgânicos; e de acordo com comportamento: oxidantes, não oxidantes, catódicos anódicos e de adsorção (VERMA, 2022).

### 2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES QUANTO AO MECANISMO DE PROTEÇÃO

#### 2.3.1.1 Inibidores Anódicos

Os inibidores anódicos são compostos que atuam retardando ou mesmo impedindo a reação anódica. O nitrito de sódio,  $\text{NaNO}_2$ , é um inibidor de corrosão de baixo impacto ambiental. Seu mecanismo de proteção é anódico, muito usado em caldeiras e, geralmente, é tamponado com tetraborato de sódio ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) para manter o pH em 8, meio alcalino (GENTIL, 2017).

A natureza do ambiente corrosivo desempenha um papel significativo na seleção do inibidor mais adequado. Inibidores anódicos são preferidos em ambientes com elevada concentração de íons metálicos, enquanto inibidores catódicos são mais eficazes em ambientes com pH elevado. Além disso, inibidores mistos são empregados em ambientes com características variáveis de corrosão. No caso de inibidores anódicos, reage com o produto de corrosão inicialmente formado, dando origem a um filme aderente e extremamente insolúvel, passivando a superfície, resultando em sua proteção (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2014).

Esses inibidores devem ser ativos em meios diferentes, para não alterar suas propriedades físicas e químicas. Para selecionar o inibidor, de forma assertiva, é importante considerar as propriedades e os mecanismos de ação de cada inibidor observado, por meio de estudos e técnicas, para verificar a eficiência de inibição (GONZAGA *et al.*, 2018).

Ao usar inibidores anódicos, devem-se adotar medidas para usar quantidades suficientes para a proteção. Cada inibidor tem uma concentração crítica em solução, acima da qual ocorre a inibição. Mas quando a concentração do inibidor é insuficiente concentração crítica, pode propiciar a corrosão localizada em áreas desprotegidas, porque o produto não se forma em toda a superfície a ser protegida (CHEN; PAN, 2022).

### 2.3.1.2 Inibidores Catódicos

Inibidores catódicos reduzem as reações catódicas. São substâncias que fornecem íons metálicos capazes de reagir com a alcalinidade catódica, produzindo compostos insolúveis. Esses compostos insolúveis envolvem a área catódica, impedindo a difusão do oxigênio e a condução de elétrons, inibindo, assim, o processo catódico. Essa inibição provoca acentuada polarização catódica (GENTIL, 2017).

Inibidores de adsorção são usados com frequência em meios ácidos, pois protegem o metal por meio de um filme depositado na superfície do metal, devido a adsorção das moléculas que compõem o inibidor, o que impede ou reduz o contato do metal com o meio corrosivo, diminuindo a velocidade das reações anódicas e catódicas (FERNANDES *et al.*, 2019).

Algumas substâncias, como sais de arsênico, atuam como inibidores catódicos, impedindo o desprendimento de hidrogênio devido ao fenômeno da sobretensão. A adoção de inibidores catódicos e anódicos é comum em muitas ocasiões, e podem ser do tipo catódico de inibição da corrosão do aço com natureza de quimissorção e fisissorção (KUMAR *et al.*, 2022).

### 2.3.1.3 Inibidores De Adsorção

Algumas substâncias possuem capacidade de formar filmes em áreas anódicas e catódicas destrutivas com efeitos eletroquímicos. A matéria orgânica pertencente a este grupo contém fortes grupos polares que levam à formação de película de adsorção, incluindo colóides e sabões de metais pesados (GENTIL, 2017).

Geralmente, moléculas orgânicas contendo átomos de enxofre, nitrogênio e oxigênio são aplicadas como inibidores de adsorção: aminas, compostos nitrogenados e ureia (DA SILVA, 2018). A película protetora produzida pelos inibidores de adsorção pode ser afetada por vários fatores, como a quantidade e concentração do inibidor utilizado no processo, temperatura do sistema, natureza do substrato disponível para adsorção do inibidor, tempo de contato entre o inibidor e a superfície metálica onde o mecanismo de inibição da corrosão pode ser atribuído à adsorção físico-química (CHEN *et al.*, 2023).

Como o processo é adsorptivo, ele pode ocorrer a partir da fisissorção e quimissorção, diminuindo a velocidade de difusão dos agentes de corrosão, podendo chegar a reduzir ou controlar as reações de caráter eletroquímico (TALHA *et al.*, 2021).

A eficácia dos inibidores de adsorção é altamente dependente da força da interação metal-inibidor, seja por meio da fisissorção ou quimissorção, pois o estudo dessa classe de inibidores é relevante devido à variedade de materiais metálicos utilizados e às crescentes restrições legais sobre a ecotoxicidade dos inibidores (VASZILCSIN *et al.*, 2023).

## **2.3.2 CLASSIFICAÇÃO DE INIBIDORES QUANTO À SUA NATUREZA QUÍMICA**

### **2.3.2.1 Inibidores Inorgânicos**

Os inibidores inorgânicos são constituídos à base de cromatos, óxidos e nitritos que atuam oxidando a superfície do metal e formando um filme passivo na superfície. No entanto, a maioria desses inibidores não são seguros ambientalmente e são muito onerosos. Portanto, apresentam grandes restrições ambientais. Com base nisso, surgiram novos inibidores menos agressivos ao meio (BAHLAKEH *et al.*, 2019).

Os inibidores de corrosão inorgânicos são compostos químicos que interagem com a superfície do metal, formando uma camada protetora que retarda ou impede o processo corrosivo, que pode ser aplicado em forma de revestimento hidrofóbico que proporciona proteção ativa contra corrosão em ligas metálicas (YU, *et al.*, 2024).

Esses inibidores são amplamente utilizados em uma variedade de setores industriais, incluindo petróleo e gás, construção naval, automotivo e aeroespacial, inibidores híbridos contendo materiais inovadores, como misturas de insumos orgânicos e inorgânicos são usados para melhorar as propriedades de proteção contra corrosão em equipamentos que faça uso de aço em sua estrutura (LAI, Xin *et al.*, 2021).

### **2.3.2.2 Inibidores Orgânicos Naturais Ou Inibidores Verdes**

Os inibidores de origem vegetal, ou bioinibidores, são caracterizados como inibidores verdes, por serem menos agressivos ao meio ambiente e apresentarem baixo custo. Tornaram-se, desse modo, uma alternativa acessível para o problema da corrosão, por serem de origem renovável.

Um estudo usando o óleo essencial do fruto *Cupressus arizônica* foi realizado em aço carbono em meio ácido, onde foi usado o ácido clorídrico-HCl, aplicadas técnicas

eletroquímicas e usado microscópio eletrônico de varredura. O resultado se demonstrou satisfatório de inibição na concentração 0,5 g/L de mais de 90% nas condições do experimento em bancada (CHERRAD *et al.*, 2022).

O resíduo da indústria alimentícia pode ser melhor aproveitado, como a casca do nabo, que foi usada como matéria-prima para bioinibidor em meio salino. A eficiência foi estudada em diferentes temperaturas da solução corrosiva, em temperatura ambiente e à 338 K, mostrando que o aumento da temperatura reduz a eficiência de inibição (FEKRI *et al.*, 2022).

Um estudo usou como matéria prima a goma arábica, muito empregada em outros setores industriais (como alimentícios) e obteve uma boa aplicação como inibidora de corrosão na concentração de 1 g/L. Atingiu 96% de eficiência de inibição em meio ácido. As técnicas empregadas foram as medidas de perda de massa e testes como polarização potenciodinâmica (PP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) (EL AZZOUZI *et al.*, 2022).

O eucalipto é uma planta muito usada na medicina popular, e foi testado seu potencial como bioinibidor de corrosão, aplicado em armação de concreto feita de aço, cuja exposição em concentrações de 30% e 40% mostrou uma boa eficiência em relação a concentrações inferiores, chegando a retardar o processo de degradação a 18% e 28%, respectivamente (AL-AKHRAS; MASHAQBEH, 2021).

A indústria de petróleo e gás é acometida com grandes prejuízos causados pela corrosão. O uso de inibidores menos agressivos ao meio ambiente, como um novo líquido iônico supramolecular de brometo-cucurbita[7]uril (BrCU), foi aplicado ao aço St2 e obteve um bom resultado de eficiência de inibição superior a 90% em meios salinos e ácidos, simulando o meio agressivo das plataformas de petróleo. Um estudo similar fez uso de um composto farmacêutico ativo glicoluril, aplicado no aço St3, muito usado em gasodutos, obtendo um resultado de inibição superior a 90% (BERDIMURODOV *et al.*, 2021, 2022a).

#### **2.3.2.2.1 Inibidores De Corrosão Verdes Contendo Glicerina**

O glicerol foi testado quanto ao seu desempenho de inibição de corrosão em aço X52, em ambiente salino, semelhante à água do mar. A propriedade inibidora de corrosão do glicerol em aço X52, em solução de salmoura de NaCl a 3,5% em peso, foi investigada usando as concentrações de glicerol de 400, 600, 800, 1.000, 5.000 e 10.000 partes por milhão. Feito o teste de perda de massa, para constatar a eficiência de inibição da glicerina, a *allium Jesdianum*, uma espécie de cebola comum, encontrada principalmente no Irã, foi

investigada como inibidora de corrosão em aço macio, cujo extrato obteve uma eficiência de mais de noventa por cento nas condições do experimento em laboratório (KAHKESH; ZARGAR, 2021; SIVABALAN *et al.*, 2020).

No trabalho de Hadzich *et al.*, 2020, fizeram uso da glicerina juntamente com os óleos de sacha e de linhaça, para produzir uma resina, com o intuito de testar suas propriedades como inibidoras de corrosão na forma de revestimento. A eficiência da tinta produzida com matéria prima renovável foi posta em teste com uma tinta comercial. Obtiveram resultados promissores com o uso de tais materiais.

O alumínio é muito utilizado em vários setores industriais. Assim como o aço carbono, que é o metal mais utilizado na indústria, sofrem corrosão devido a suas aplicações. Em estudos gravimétricos e eletroquímicos, constataram que a glicerina técnica (TG) tem efeito anticorrosivo sobre aço e alumínio em solução de Cloreto de sódio (NaCl) a 0,1%. As propriedades inibitórias do TG, devido à sua adsorção na superfície desses metais, apresentam predominância do componente energético (dupla camada) do efeito protetor (SLOBODYAN *et al.*, 2019).

#### **2.3.2.2.2 Sistemas Experimentais Iniciais**

Foram realizados alguns sistemas na busca de identificar novos inibidores de corrosão juntamente com a glicerina, variando suas concentrações em meio ácido, usando a técnica de perda de massa em tempo em intervalos de tempo de 72 horas. Dentre os produtos testados com a glicerina, usamos: hesperidina, metabissulfito de sódio, propilparabeno e outros.

O produto que se destacou foi o propilparabeno, por meio da técnica de perda de massa, norteadada pela norma ASTM G-31 (2021). Em seguida, foram realizados ensaios eletroquímicos, polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Insumos Da Composição Anticorrosiva**

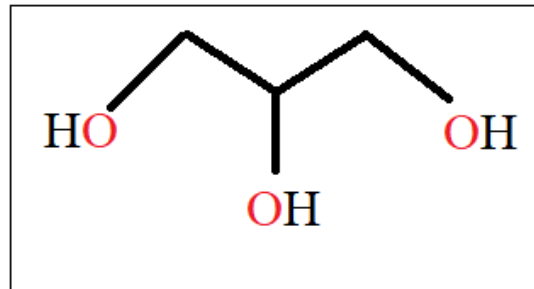
##### **3.1.1 Glicerina**

O glicerol ou glicerina é um triálcool muito versátil e está presente na indústria em muitos setores, como de alimentos, cosméticos, fármacos. E pode ser encontrado em vários tipos de óleos, gorduras de origem vegetal ou animal.



A glicerina, usada na composição anticorrosiva renovável, foi de grau analítico. E sua estrutura química é exibida na figura 7.

Figura 7 — Estrutura molecular da glicerina



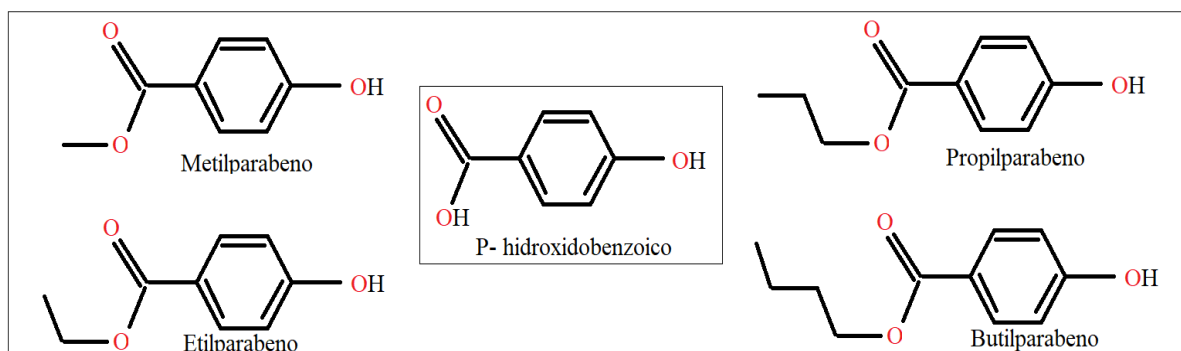
Fonte: O autor (2023).

### 3.1.2 Propilparabeno

O grupo dos parabenos, que compreende metilparabeno, etilparabeno, propilparabeno, butilparabeno e outros, é usado há mais de décadas como conservante em vários segmentos industriais, principalmente o metilparabeno e o propilparabeno, devido a suas propriedades fungicidas e bactericidas, usados em cremes, shampoos, sabonetes e fármacos (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O propilparabeno comercial foi adquirido com fornecedores locais. O grupo de parabenos de cadeia curta é sintetizado a partir do P-hidroxibenzoico. E suas fórmulas estruturais são apresentadas na figura 8.

Figura 8 — Estrutura molecular do ácido P-hidroxibenzoico e derivados parabenos



Fonte: O autor (2023).

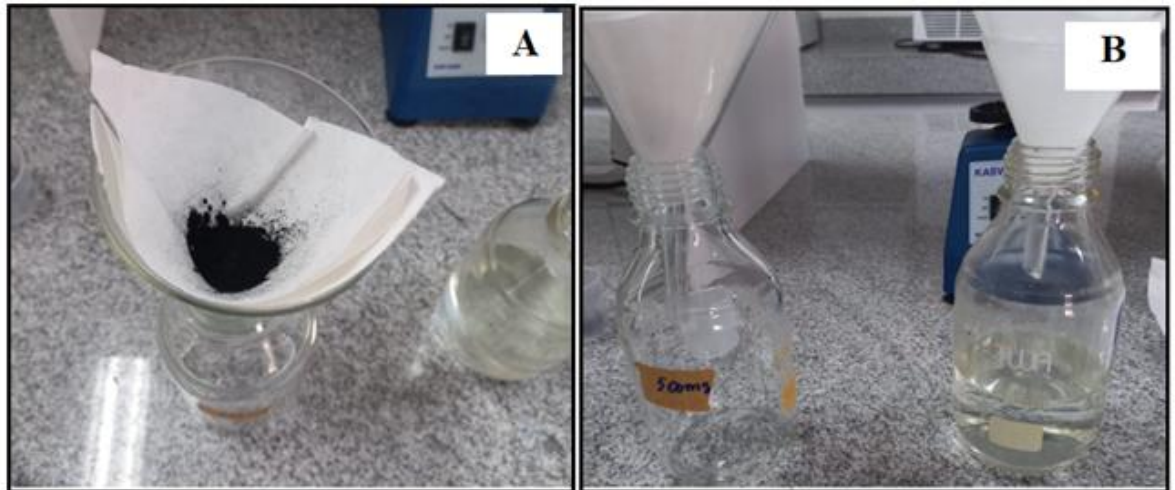
O propilparabeno é um éster propílico do ácido p-hidroxibenzoico, sintetizado usando álcoois de cadeia curta e um catalisador ácido, como o sulfúrico concentrado. Tratando-se de um ácido carboxílico muito comum, ocorre naturalmente em cenouras, azeitonas, cogumelos, canela (YANG, *et al.*, 2018). Na figura 8, apresentam-se as fórmulas estruturais do ácido p-

hidroxibenzóico e seus derivados parabenos de cadeia curta.

### 3.2 Filtro De Carvão Ativado

O sistema fez uso de filtros de carvão ativado P.A da Dinâmica, para a separação/recuperação da matéria prima usada na composição anticorrosiva do seu efluente. A proporção de carvão em relação ao propilparabeno foi de 5:1 em volume.

Figura 9 — Filtro de carvão ativado



Fonte: O autor (2023).

A figura 9 demonstra o processo de filtração usado nos sistemas para separar a matéria prima da composição anticorrosiva.

### 3.3 SELEÇÃO E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

#### 3.3.1 Material

O material escolhido foi um tubo de aço que segue a norma ASTM A 178. Os critérios de seleção compreendem sua ampla utilização em caldeiras e super aquecedores, por serem tubos de aço carbono manganês e apresentarem uma enorme resistência a impactos, soldados por resistência elétrica, portanto, por constituírem tubos especialmente indicados para geradores de vapor, serpentinas de aquecimento e condensadores.

A composição química do aço escolhido pode ser observada na tabela 1. O tubo adquirido, utilizado no presente trabalho, foi certificado pelo fornecedor e a certificação está disponível nos anexos.

Tabela 1 — Composição Química do aço carbono ASTM A-178

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Al	Fe
<b>Composição (%)</b>	0,110	0,425	0,018	0,011	0,004	0,050	99,382

Fonte: Adaptado Turberfil (2024).

O tubo apresenta as seguintes dimensões: 50,8 milímetros de diâmetro, e espessura igual a 3,05 milímetros. Apresenta uma amostra do tubo usado para a confecção dos corpos de prova para os ensaios de perda de massa e ensaios eletroquímicos.

Figura 10 — Tubo ASTM A178



Fonte: O autor (2024).

### 3.4.1 Preparo Dos Corpos De Prova

Os corpos de prova utilizados foram preparados com base na norma ASTM G-31 (2021), no Laboratório de Materiais (LMAT), no Laboratório de Inspeção e Análises de Falhas (LIAF) e no Centro de Pesquisa e Tecnologia (CPT), todos do IFCE, *campus* de Maracanaú.

#### 3.4.1.1 Corpos De Prova A Serem Utilizados Nos Ensaios De Perda De Massa

Os cupons para o ensaio de perda de massa foram produzidos usando uma cortadeira metalográfica modelo CM80-Teclago com capacidade de corte até 80 mm. Está apresentada na figura 11.

Figura 11 — Cortadora metalográfica CM80



Fonte: O autor (2023).

Na figura 11, mostra-se o equipamento utilizado na confecção dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de perda de massa em imersão com as seguintes dimensões: 3 mm x 25 mm x 50 mm, aproximadamente, e com um pequeno orifício onde os cupons podem ficar suspensos dentro do recipiente sem tocar o fundo e completamente submersos na solução, segundo a norma ASTM G-31(2021). O acabamento dos cupons foi realizado usando lixas de diferentes granulometrias: 100, 200, 320, 400 e 600. Um sistema contendo um corpo de prova imerso é apresentado na figura 12.

Figura 12 — Corpo de prova usado no teste de perda de massa



Fonte: O autor (2023).

### 3.4.1.2 Corpos De Prova A Serem Utilizados Nos Ensaios Eletroquímicos

Para a confecção dos eletrodos de trabalho, foram cortados os cupons em, aproximadamente, 0,5 cm<sup>2</sup>, usando uma lâmina serra e um sistema de arrefecimento, com o intuito de não modificar a estrutura do aço usado na pesquisa.

As peças foram conectadas a um cabo de cobre e fixados a frio. Posteriormente, foram utilizados: resina epóxi, catalisador e um molde de cano de PVC de 25 mm, para finalizar a confecção dos eletrodos de trabalho a serem usados nos ensaios eletroquímicos. O

acabamento foi similar ao dos cupons usados no ensaio anterior. Um modelo de eletrodo usado está apresentado na figura 13.

Figura 13 — Eletrodo de trabalho



Fonte: O autor (2023).

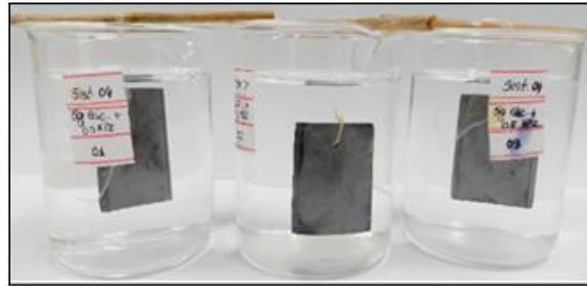
### 3.5 Ensaio De Perda De Massa

Os ensaios de perda de massa foram realizados no laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental (LAQAMB) do IFCE, *campus* Maracanaú. Lá, as peças foram imersas depois de lixadas com lixas de granulometria diferentes para o seu devido acabamento, variando de 100 a 600 mesh e enxague com água destilada, etanol e secas com jato de ar quente, segundo a norma ASTM G-31(2021).

Para realizar a imersão, as peças foram submetidas a um banho na solução de Clark, em intervalo de 15 a 20 segundos. Esta, por sua vez, é composta por HCl, SbO<sub>3</sub> e SnCl<sub>2</sub>, e é indicada para retirar qualquer material de corrosão e incrustações que possa ter aderido às amostras. Em seguida, foram lavadas com água destilada, etanol e secas com jato de ar aquecido. As amostras foram imersas usando material inerte, para suspendê-las no recipiente e ficaram completamente submersas na solução de todos os sistemas realizados em triplicatas.

Foi avaliada a eficiência do inibidor renovável em meio ácido, HCl 0,1mol/L, em temperatura ambiente. Os corpos de prova foram imersos em béqueres de 300 ml, contendo as soluções segundo o padrão orientado para norma ASTM G-31(2021), representados na figura 14.

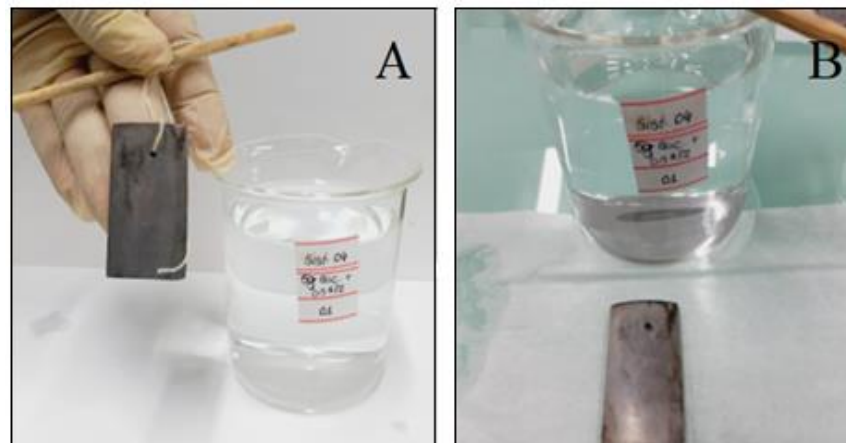
Figura 14 — Sistema dos corpos de prova imersos



Fonte: O autor (2023).

A aferição da perda de massa foi determinada empregando uma balança analítica, marca Radwag, com capacidade e precisão 220g/0,0001g. Os ensaios foram realizados em triplicatas, e o tempo total de análise foi de 192 horas. As aferições foram realizadas a cada 24 horas, onde os corpos de prova eram retirados, submetidos a uma limpeza mecânica, usando uma escova de cerdas macias e, logo após, imersos na solução de Clark, para a remoção de material de corrosão, no intervalo de 15 a 20 segundos, e limpos com água destilada, etanol. Por fim, eram secas com ar quente e feita a aferição da massa novamente. Depois, as peças eram imersas no sistema novamente. Na figura 15 pode ser observado o processo de limpeza das peças.

Figura 15 — Limpeza dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2023).

A figura 15 A mostra a peça retirada do sistema antes da limpeza mecânica e química. E, na imagem 15 B, é apresentado o aspecto físico da mesma peça, após o processo.

Ao término dos ensaios, foram calculados a perda de massa relativa ( $\Delta m$ ), a partir da Equação (OLIVEIRA; CARDOSO, 2019).

$$\Delta m (\%) = [(m_0 - m) / m_0] \times 100 \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde  $m_0$  e  $m$  são os valores das massas do corpo de prova no início do teste ( $t = 0$  h) e após um determinado período de imersão, respectivamente.

A taxa de corrosão (TC) foi calculada a partir da Equação 06, conforme a norma ASTM G-31 (2021) orienta:

$$TC = (K \times W) / (A \times T \times D) \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde  $K$  é uma constante,  $T$  é o tempo de exposição (h),  $A$  é a área ( $\text{cm}^2$ ),  $W$  é a perda de massa (g) e  $D$  é a densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Para aço carbono,  $D = 7,86 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

O valor da constante  $K$  depende da unidade desejada para a taxa de corrosão, conforme pode ser verificado na tabela 2.

Tabela 2 - Valores da constante de corrosão ( $K$ )

<b>Unidade da Taxa de Corrosão</b>	<b>Valor da constante K</b>
<b>Milésimos de polegadas por ano (mpy)</b>	$3,45 \times 10^6$
<b>Polegadas por ano (ipy)</b>	$3,45 \times 10^3$
<b>Polegadas por mês (ipm)</b>	$2,87 \times 10^2$
<b>Milímetros por ano (mm/y)</b>	$8,76 \times 10^4$
<b>Micrômetros por ano (um/y)</b>	$8,76 \times 10^7$
<b>Picômetros por segundo (pm/s)</b>	$2,78 \times 10^9$
<b>Gramas por metro quadrado por hora (<math>\text{g}/\text{m}^2.\text{h}</math>)</b>	$1,00 \times 10^4 \times D$
<b>Miligramas por decímetro quadrado por dia (mdd)</b>	$2,40 \times 10^9 \times D$
<b>Microgramas por metro quadrado por segundo</b>	$2,78 \times 10^6 \times D$

Fonte: ASTM G31-21 (2021).

A eficiência de inibição (IE), foi calculada a partir da Equação 7 (OLIVEIRA; CARDOSO, 2019):

$$IE (\%) = [(TC_0 - TC) / TC_0] \times 100 \quad \text{Eq.(7)}$$

Onde  $TC_0$  e  $TC$  são os valores das taxas de corrosão, respectivamente, na ausência e na presença de inibidor em um mesmo intervalo de tempo.

### 3.6 Pesquisa nos Indexadores

As plataformas utilizadas foram Science Direct, Periódicos Capes e Google Acadêmico. O período de tempo delimitado foi de, aproximadamente, cinco anos (2018-2023), com a finalidade de buscar artigos científicos que avaliassem a utilização de inibidores de corrosão verdes que fizeram uso de glicerina, propilparabeno e inibidores de corrosão menos agressivos à natureza.

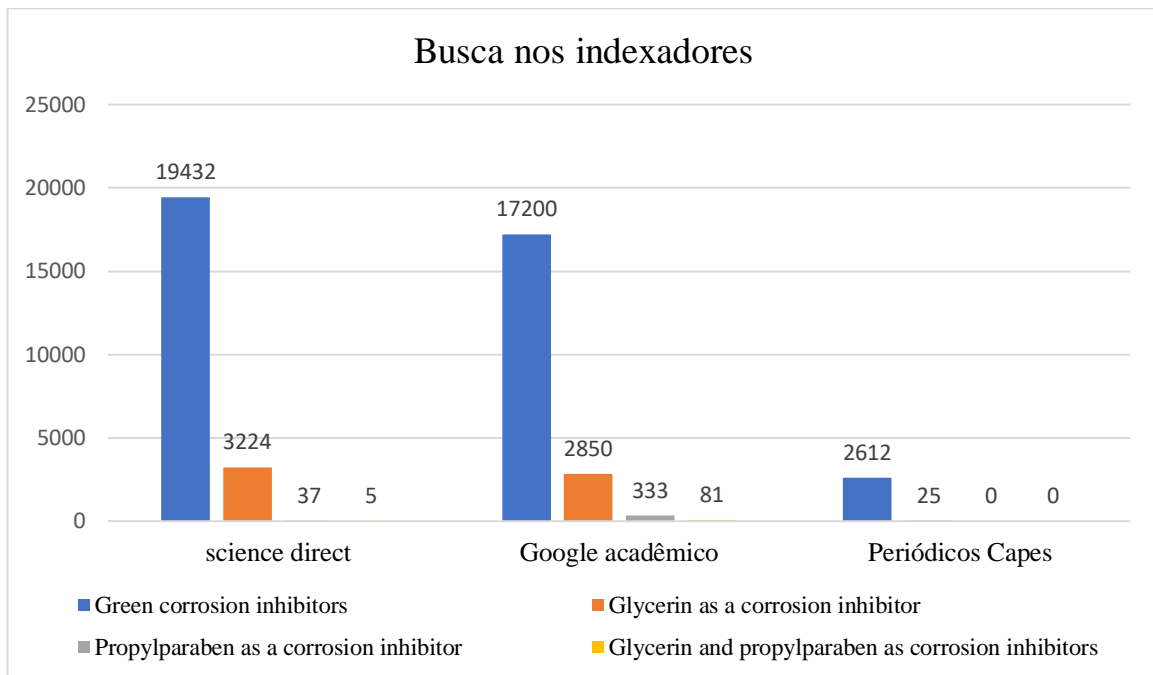
Foram aplicadas as seguintes palavras-chave: inibidores de corrosão verdes, glicerina como inibidor de corrosão, propilparabeno como inibidor de corrosão e glicerina e propilparabeno como inibidores de corrosão. Todos os termos da busca foram utilizados em inglês.

A seleção dos manuscritos foi norteada em critérios de inclusão: artigos publicados em inglês, espanhol ou português e artigos com palavras-chave no título, resumo ou palavras-chave de qualquer espécie, contendo as palavras inibidores de corrosão verde com glicerina, inibidores de corrosão com propilparabeno e inibidores de corrosão glicerina e propilparabeno. Outros artigos que não preenchiam os critérios de inclusão foram excluídos desta busca, bem como “publicações” pouco confiáveis, tais como esboços, artigos do sítio e pré-impressões de artigos submetidos.

Os artigos selecionados foram revistos manualmente, por ordem, identificando e excluindo obras que não cumpriam os critérios descritos acima. Este estudo abrangeu um total de 45.799 publicações contendo as palavras: inibidores verdes, glicerina e propilparabeno como inibidores de corrosão. Todos os dados obtidos foram listados na figura 16.



Figura 16 — Busca nos principais indexadores



Fonte: O autor (2023).

Na figura 16, observa-se que a quantidade de artigos reduziu quando usadas as palavras mais específicas, no caso de “Glicerina” e “Propilparabeno como inibidores de corrosão”, contendo apenas 5 no Science Direct, 81 no Google acadêmico e nenhum no Periódicos Capes. Os artigos encontrados com essas palavras-chave estavam relacionados à produção de cosméticos e produtos farmacêuticos, sem relação com o estudo em questão.

Na tabela 3, apresentam-se os principais artigos usados na discussão, trabalhos que fizeram uso do insumo glicerina como inibidores de corrosão.

Tabela 3 — Principais artigos selecionados

<b>Artigos selecionados</b>				
Autores	Título do artigo	Meio	Metal/Ligas	Metodologia
EL AZZOUZI, <i>et al.</i> 2022.	Moroccan, Mauritania, and senegalese gum Arabic variants as green corrosion	Ácido	Aço macio	Gravimétricos e Eletroquímico

	inhibitors for mild steel in HCl: Weight loss, electrochemical, AFM and XPS studies.			
AHMED; RYDER; ABBOTT, 2021.	Corrosion of iron, nickel and aluminium in deep eutectic solvents.		Aço, Níquel e alumínio	Eletroquímico
CHERRAD <i>et al.</i> , 2022.	Cupressus arizonica fruit essential oil: A novel green inhibitor for acid corrosion of carbon steel: Cupressus arizonica fruit essential oil.	Ácido	Aço	Eletroquímicos
FEKRI <i>et al.</i> , 2022.	Turnip peel extract as green corrosion bio-inhibitor for copper in 3.5% NaCl solution.	Salino	Cobre	Eletroquímicos
KAHKESH <i>et al.</i> , 2021.	Corrosion protection evaluation of Allium Jesdianum as a novel and green source inhibitor for mild steel in 1M HCl solution.	Ácido	Aço macio	Gravimétrico e Eletroquímico
BERDIMURODOV <i>et al.</i> , 2021.	Novel bromide–cucurbit[7]uril supramolecular ionic liquid as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry.	Ácido e salino	Aço St2	Gravimétrico e Eletroquímico
AL-AKHRAS MASHAQBEH Y 2022.	Potential use of eucalyptus leaves as green corrosion inhibitor of steel reinforcement.	Ácido	Aço	Eletroquímico
SIVABALAN <i>et al.</i> , 2020.	Corrosion inhibition study on glycerol as simultaneous gas hydrate and corrosion inhibitor	Salino	Aço macio X52	Gravimétrico

	in gas pipelines.			
HADZICH <i>et al.</i> , 2020.	Effect of polyalcohols on the anticorrosive behaviour of alkyd coatings prepared with drying oils.	Ácido e Salino	Aço macio	
LAHROUR <i>et al.</i> , 2019	Glycerin-Grafted starch as corrosion inhibitor of C-Mn steel in 1 M HCl solution.	Ácido	Aço C-Mn	Gravimétrico e Eletroquímicos
SLOBODYAN <i>et al.</i> , 2019.	Influence of technical glycerine and composition on his base on 20 steel and aluminium corrosion durability in 0,1% nacl	Salino	Aço e Alumínio	Gravimétrico e Eletroquímicos
GHAJARZADEH <i>et al.</i> , 2021.	Bilayer micro-arc oxidation-poly (glycerol sebacate) coating on AZ91 for improved corrosion resistance and biological activity	Básico	Az91	Eletroquímico
MBAKIDI <i>et al.</i> , 2018.	Glycerol-based ionic liquids: Crucial microwaves-assisted synthetic step for solketal amines	-	-	Termogravimétrica s e Espectrometria de massa
ASSEFINEJAD <i>et al.</i> , 2020.	Failure investigation of water wall tubes in a drum boiler of a thermal power plant	Básico	Aço C-Mn	-
ZUBAIDI <i>et al.</i> , 2018.	Crude glycerol as an innovative corrosion inhibitor.	Ácido	Aço Carbono	Gravimétrico e Eletroquímico

Fonte: O autor (2024).

Foram selecionados artigos que fizeram uso de insumos como a glicerina e/ou inibidores de corrosão verdes, em meios ácidos, básicos e salinos, metodologias adotadas como a perda de massa e eletroquímicos.

### 3.7 Isotermas De Adsorção

Isotermas de adsorção são definidas como equações matemáticas, com finalidade de descrever, em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, em temperatura constante. Por meio dessa técnica, é possível prever a quantidade de um determinado soluto adsorvido por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto (ALLEONI *et al.*, 1998).

A adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade, em dois tipos: adsorção física e adsorção química. O modelo de Langmuir é uma das equações mais utilizadas para representação de processos de adsorção. Essa, por sua vez, apresenta os seguintes pressupostos: os sítios têm energia equivalente e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras; existe um número definido de sítios; a adsorção ocorre em uma monocamada. Cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Há muitos modelos teóricos que descrevem adsorção, como o de Langmuir, Freundlich, Temkin. Apesar da consistente base teórica, todos os modelos possuem vantagens e limitações sobre determinados sistemas, de forma que alguns sistemas podem ser melhor caracterizados por certas isotermas. E o modelo Langmuir é a base e/ou ponto de partida para uma série de modelos relacionados (MILHOMEM, 2021).

### 3.8 Ensaios Eletroquímicos

Os ensaios eletroquímicos de polarização potenciodinâmica (PP), potencial de circuito aberto (OCP), e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) foram realizados no Laboratório de Inspeção e Análises de Falha do Instituto Federal do Ceará, *campus* Maracanaú (LIAF-IFCE).

Estes ensaios foram realizados em um sistema convencional composto por três eletrodos, cujas células eletroquímicas usadas nos ensaios são constituídas de um recipiente de vidro com capacidade de 300 ml, um suporte universal, onde foram alocados os eletrodos de trabalho, o eletrodo de referência e o eletrodo auxiliar. Utilizando-se de um potenciostato/galvanostato Autolab modelo PGSTAT128N da Metrohm® e o software Nova®2.1.5, realizou-se obtenção e análise dos dados. A figura 17 apresenta o equipamento usado. Utilizou-se como referência um eletrodo de Prata - Cloreto de Prata (Ag/ AgCl) e um fio de Platina como contra-eletrodo, com área superior a três vezes a área do eletrodo de trabalho.

Figura 17 — Potenciostato/galvanostato Autolab modelo PGSTAT302N da Metrohm

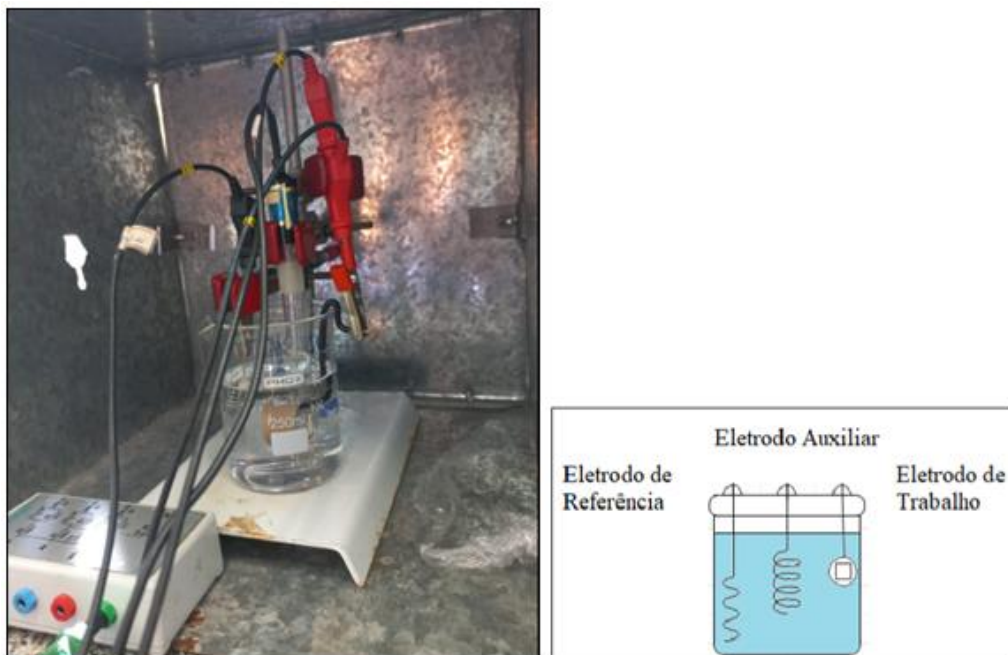


Fonte: O autor (2023).

Como eletrodo de trabalho, utilizou-se aço carbono ASTM A178, tendo sido preparado conforme o procedimento descrito anteriormente. Este eletrodo foi lixado em um equipamento politriz da Arotec®, com lixa d'água de granulometrias de 100 a 600, lavado com água corrente, álcool e seco com um jato de ar quente e, finalmente, imerso na célula eletroquímica.

Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente e aeração natural. Há representação de uma célula eletroquímica usada no referido trabalho, na figura 18:

Figura 18 — Célula de polarização compostas por três eletrodos



Fonte: O autor (2024).

### 3.8.1 Espectroscopia De Impedância Eletroquímica (EIE)

Essa técnica é uma ferramenta valiosa que permite decompor processos eletroquímicos complexos em uma série de processos fundamentais, mostrando cinética de corrosão, bem como os fenômenos interfaciais que ocorrem no metal quando este se encontra em contato com o meio eletrolítico (CHEN *et al.*, 2023). Nesta técnica, o valor de impedância ( $Z$ ) é representado por um número complexo, isto é, formado por uma parte real ( $Z'$ ) e uma parte imaginária ( $Z''$ ).

As medidas de impedância eletroquímica foram realizadas logo após o sistema ter alcançado a estabilidade durante o ensaio de OCP, aproximadamente 60 minutos depois do eletrodo de trabalho estar imerso na solução corrosiva. Os testes de EIE foram realizados em uma faixa de frequência de 40 kHz a 10 mHz, aplicando-se uma perturbação senoidal de 10 mV e uma taxa de obtenção de dados de 50 pontos de frequência na escala logarítmica. As medidas foram realizadas com tempo de imersão. A partir dos diagramas de impedância obtidos, nos modelos de Bode e Nyquist, obtiveram-se os valores de resistência de polarização do eletrólito, bem com a capacitância da camada passivada.

A capacitância da dupla camada ( $C_{dl}$ ) foi calculada a partir da seguinte equação:

$$C_{dl} = 1 / (2\pi f_{max} R_{ct}) \quad \text{Eq.(8)}$$

Onde  $f_{max}$  é a frequência, na qual a componente da parte imaginária da impedância apresenta valor máximo, e  $R_{ct}$ , a resistência à transferência de cargas.

A eficiência de inibição (IE) foi calculada de acordo com a Equação 11:

$$\%IE = [(R_{ct}^i - R_{ct}^0) / R_{ct}^i] \times 100 \quad \text{Eq.(9)}$$

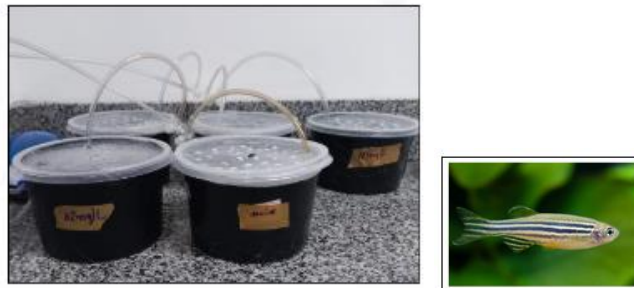
Onde  $R_{ct}^i$  e  $R_{ct}^0$  são os valores da resistência à transferência de carga na presença e na ausência do inibidor, respectivamente.

### 3.9 Ensaio De Ecotoxicidade Em Zebrafish

As análises da toxicidade ambiental foram realizadas usando o inibidor comercial, composição anticorrosiva e o controle, uma solução em branco (Naive), tendo como indicador o peixe Zebrafish, espécie amplamente utilizada em pesquisas, por ser de fácil reprodução e boa adaptação ao ambiente de laboratório. Essa espécie foi usada na avaliação de toxicidade de centenas de pesticidas (CEGER *et al.*, 2023).

Os peixes foram expostos aos inibidores em estudo durante um período de 96 horas, em condições controladas de temperatura, aeração e alimentação. Foram usados recipientes inertes e protegidos contra perturbações indesejadas. O cardume foi mantido no ambiente por um tempo de aclimatação de 9 dias. Mortalidades e anormalidades visíveis relacionadas à aparência foram observadas e registradas, e cada sistema foi composto por 10 animais, em concentrações de 500 mg/L, 250 mg/L, 125 mg/L, 62 mg/L em todos os sistemas. Foram verificados, a cada 24 horas, os aspectos físicos e o número de óbitos em cada ensaio, seguindo todas as recomendações da diretriz nº 203 de 2019, da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), para teste de produtos químicos e efeitos em sistemas bióticos.

Figura 19 — Modelo de teste com Zebrafish



Fonte: O autor (2024).

Para as análises estatísticas e plotagem dos gráficos, foi usado o GraphPad Prism, versão 8.4.3.

Esse estudo foi realizado em conformidade com o Comitê de Ética em pesquisa da Universidade Estadual do Ceará (UECE), que avaliou e certificou os aspectos éticos da pesquisa. O número do protocolo é 200621, e está presente no anexo B do Certificado de Apresentação e Apreciação Ética (CAAE).

Foi realizado o pedido de depósito de patente da composição anticorrosiva com o presente número do processo: BR 10 2023 011720 1, presente no anexo C.

### 3.10 Sistema De Filtro De Carvão Ativado

O sistema fez uso de filtros de carvão ativado para a separação/recuperação da matéria prima usada na composição anticorrosiva do seu efluente. O filtro de carvão ativado é largamente usado em tratamentos diversos, como água potável para consumo humano e efluentes (WESTPHALEN *et al.*, 2016).

Esse insumo de origem renovável continua sendo amplamente utilizado em uma

variedade de aplicações, incluindo tratamento de água, remediação ambiental, purificação de ar, produção farmacêutica e cosmética, entre outros. Sua capacidade de adsorver uma ampla gama de substâncias químicas o torna uma ferramenta versátil e valiosa em muitos setores (SILVA, *et al.*, 2024).

O carvão ativado é um exemplo clássico de como uma descoberta antiga pode continuar relevante e útil ao longo dos séculos, adaptando-se às necessidades e avanços da sociedade, é utilizado em sistemas de tratamento de gases radioativos em centrais nucleares. Sua história ilustra sua importância contínua como uma ferramenta valiosa para a purificação e tratamento (JI, Yongchen. 2024).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises De Ph Das Soluções De Inibidores

Realizaram-se também as análises de pH das soluções estudadas antes e após os ensaios, com as soluções com os corpos de prova e apenas as soluções sem os corpos de prova, com o intuito de verificar alguma variação significativa nos sistemas. Pode-se ser observado que os sistemas se mantiveram, praticamente, constantes ao longo dos ensaios.

Na tabela 3, é possível notar uma pequena variação no pH da solução em branco que variou de 0,66 em relação à aferição do início do sistema. Relativo às outras duas soluções, a variação ficou abaixo de 0,11. Não foram observadas variações significativas no pH das soluções do estudo.

Tabela 4 — Avaliação do pH das soluções dos sistemas

<b>Solução</b>	<b>pH 0 hs</b>	<b>pH 192hs</b>
<b>HCl Branco</b>	1,22	1,88
<b>HCl com C.A</b>	1,35	1,25
<b>HCl com I.C</b>	1,38	1,27

Fonte: O autor (2023).

Legenda: C.A: Composição Anticorrosiva; I.C: Inibidor Comercial.

Na tabela 04, podem ser observados os valores de pH da solução sem os corpos de provas, para a análise da diferença de pH das soluções com e sem as peças.



Tabela 5 — Avaliação do pH das soluções SEM os corpos de prova

<b>Solução sem o corpo de prova</b>	<b>pH 0 hs</b>	<b>pH 192 hs</b>
<b>HCl Branco</b>	1,22	1,22
<b>HCl com C.A</b>	1,35	1,27
<b>HCl com I.C</b>	1,38	1,52

Fonte: O autor (2023).

Legenda: C.A: Composição Anticorrosiva; I.C: Inibidor Comercial.

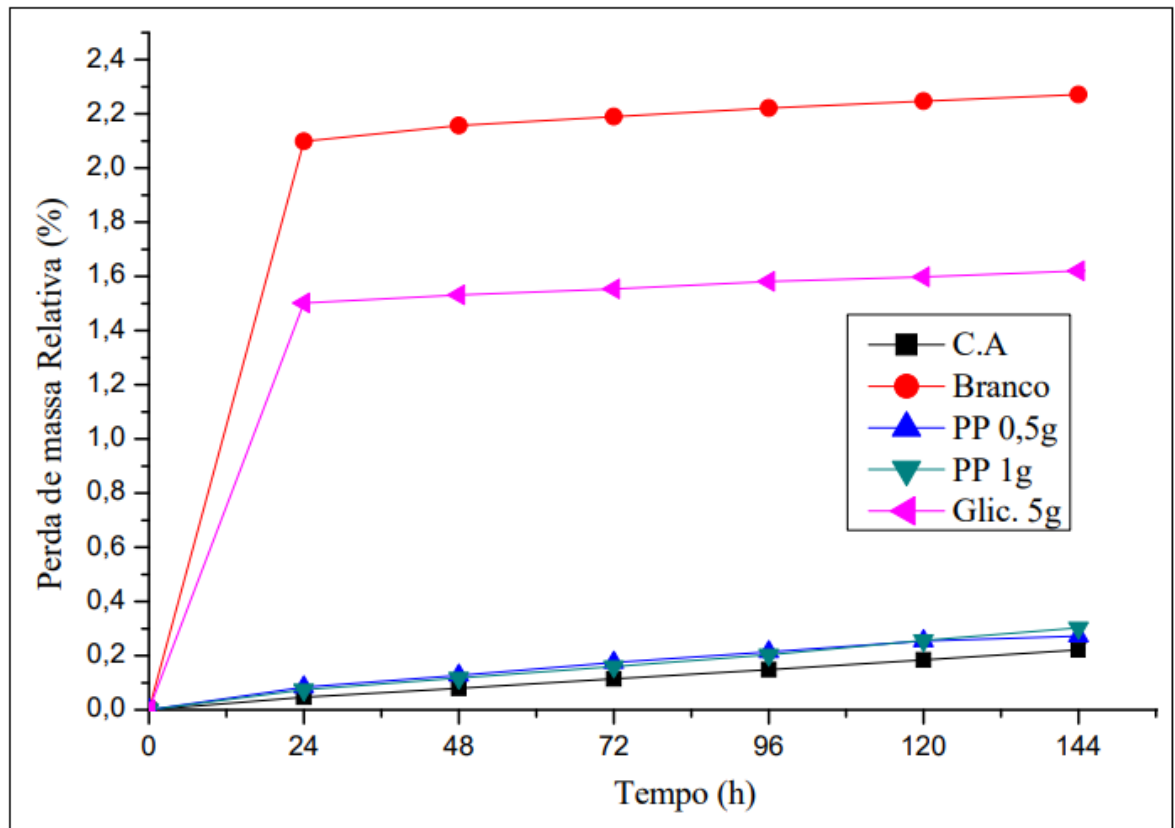
Na tabela, é apresentado o pH das soluções sem os corpos de prova. Nota-se que não houve variações significativas em relação ao pH das soluções com os corpos de prova.

## 4.2 Ensaio De Perda De Massa

Com base na velocidade média de corrosão, pode-se estimar a vida útil de uma determinada estrutura. Apesar dos avanços das técnicas eletroquímicas, os métodos mais confiáveis de verificar medida de velocidade de corrosão ainda são os baseados em perda de massa do material (GENTIL, 2017).

Os ensaios iniciais foram realizados usando glicerina, propilparabeno e, logo após, a junção dos dois, com o intuito de verificar a eficiência na redução de perda de massa. Os resultados podem ser observados na figura abaixo:

Figura 20 — Perda de massa solução em Branco, Propilparabeno (0,5g e 1g), glicerina (5g)



Fonte: O autor (2023).

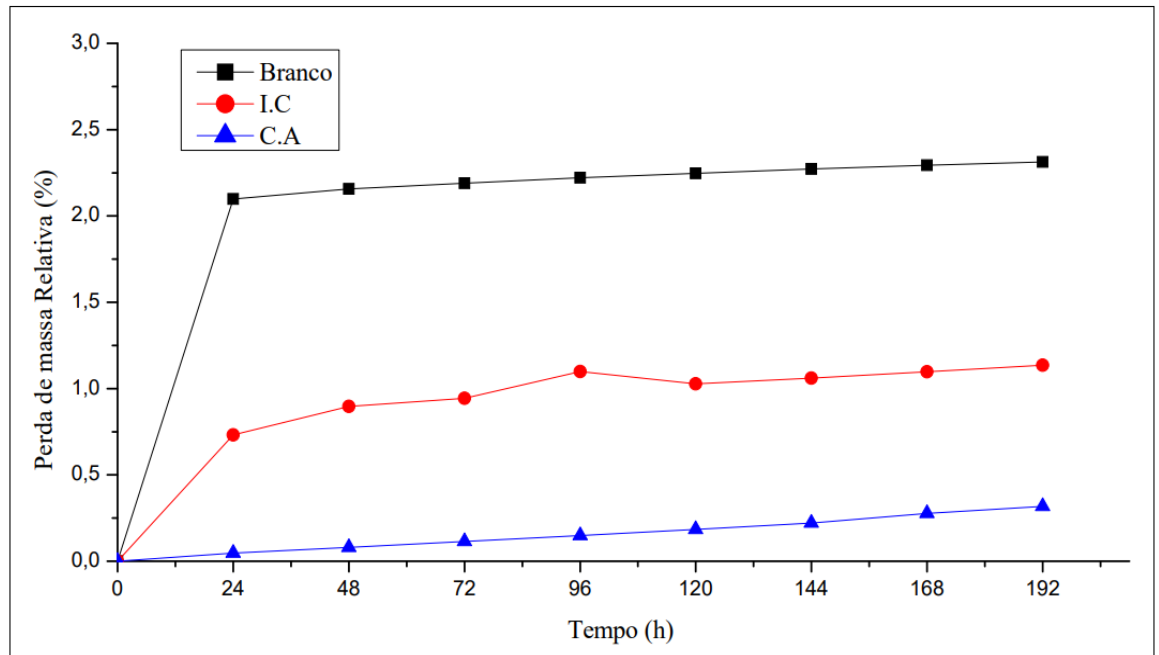
Legenda: C.A: Composição Anticorrosiva; PP: Propilparabeno; Glic: Glicerina; Branco: Ausência de inibidores.

Na figura 20, pode ser verificada a perda de massa em porcentagem pelo tempo. O intervalo do ensaio foi de 144 horas. A solução em branco, simulando o ambiente industrial ácido na ausência de inibidor, apresentou, nas primeiras 24 horas, uma perda de massa superior a 2%. A glicerina na concentração de 5 g/L reduziu para 1,5%. O propilparabeno, de 1g, reduziu para 0,07%. O propilparabeno de 0,5g/L foi para 0,08%, nas primeiras 24 horas. Os resultados da perda de massa nas concentrações de propilparabeno de 1,0 g/L e 0,5g/L obtiveram praticamente os mesmos resultados. Portanto, foi adotada a concentração de 0,5g/L para os próximos testes. Assim, pode ser observado, que no decorrer do tempo, a eficiência foi caindo de forma progressiva.

Nas primeiras 24 horas, foi observado que a composição anticorrosiva possibilitou uma redução na perda de massa relativa à 97,62%, em comparação com a solução de 0,1 molar de HCl sem a presença do inibidor, “solução em branco”. E o inibidor Comercial à base de nitrito de sódio e bórax, no mesmo intervalo de tempo, obteve uma redução na perda de massa em 66,11%, corroborando com os resultados de Mohana e Badiea (2008), que

encontraram um valor de inibição em torno de 75% no intervalo de 10 horas de imersão. Isso é apresentado na figura abaixo:

Figura 21 — Perdas de massa Relativa dos corpos de prova de aço carbono ASTM A178 na ausência e na presença dos inibidores Comercial e a Composição Anticorrosiva em meio ácido HCl 0,1M



Fonte: O autor (2023).

Legenda: I.C: Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva; Branco: Ausência de inibidores.

A Figura 21 mostra os resultados do ensaio de imersão seguindo a norma ASTM G-31(2021), no qual foram usados três sistemas, uma solução em branco, um inibidor comercial e a composição anticorrosiva. A taxa de corrosão na solução em branco, nas primeiras 24 horas, ficou acima de 10,19 milímetros por ano. O do inibidor comercial, então, reduziu para 4,47 milímetros, e a composição anticorrosiva reduziu para 0,24 milímetros por ano. Ao longo dos dias de teste, foi observado que os inibidores perderam gradativamente a eficiência. A composição anticorrosiva mostrou-se mais eficiente que o comercial nas mesmas condições de teste: nas primeiras 24 horas, reduziu 41,5%; em 120 horas, a diferença foi de 35,79%; e em 192, foi de 33,11%.

Tabela 6 — Parâmetros de perda de massa para o aço carbono ASTM A178 imerso em HCl 0,1 mol. L<sup>-1</sup> em função do tempo de imersão

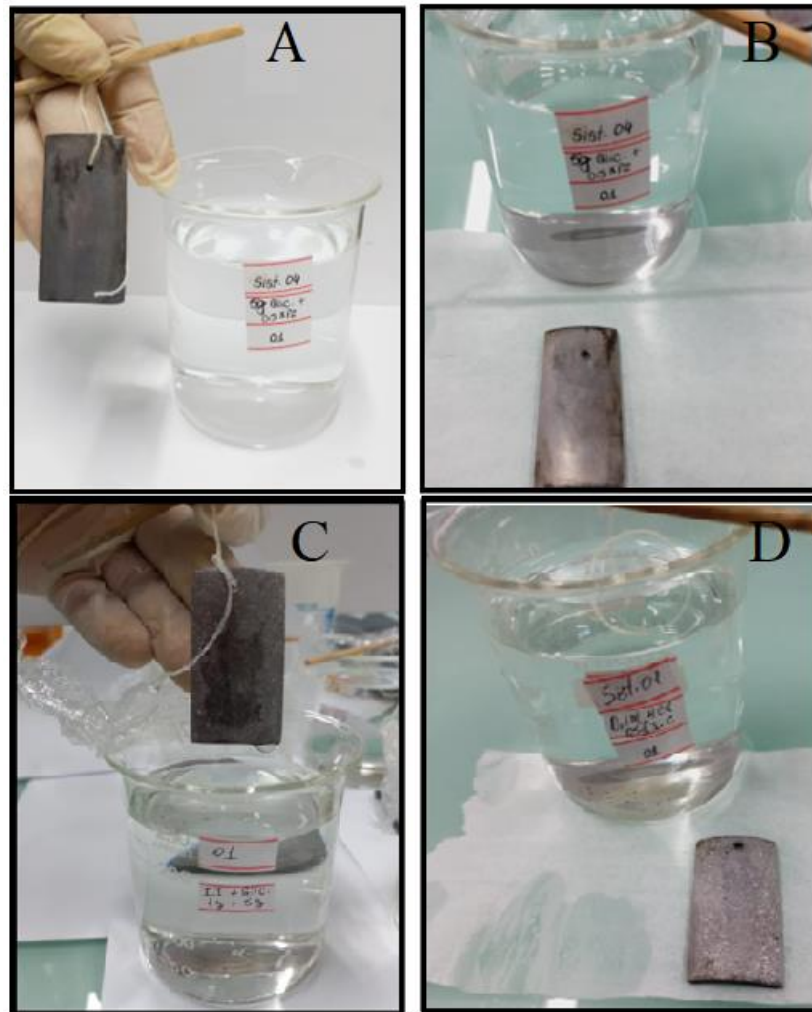
Tempo De imersão (h)	Sem Inibidor		Composição anticorrosiva			Inibidor Comercial		
	% Δm	TC	% Δm	TC	IE (%)	% Δm	TC	IE (%)
		(mm/y)		(mm/y)			(mm/y)	
24	2,0984	10,1995	0,0467	0,2421	97,62	0,7313	3,4558	66,11
48	2,1568	5,1805	0,0798	0,2068	96,00	0,8967	2,1214	59,05
72	2,1894	3,5472	0,1140	0,1970	94,44	0,9441	1,4888	58,02
96	2,2220	2,6998	0,1481	0,1919	92,89	1,0989	1,3078	51,55
120	2,2470	2,1842	0,1840	0,1907	91,26	1,0281	0,9726	55,47
144	2,2717	1,8401	0,2207	0,1906	89,64	1,0600	0,8387	54,42
168	2,2944	1,5929	0,2771	0,2009	87,38	1,0969	0,7411	53,47
192	2,3131	1,4052	0,3173	0,2055	85,37	1,1361	0,6709	52,25

Fonte: O autor (2023).

Legenda: %Δm: Perda de massa relativa; TC: Taxa de corrosão; %IE: Eficiência do inibidor.

Os resultados obtidos nos ensaios gravimétricos de perda de massa mostram eficiências de inibição superiores a 90%, durante o intervalo de 0 a 120 horas de imersão. Isso corrobora com os estudos de Slobodian *et al* (2021), que fez uso de várias substâncias de origem verde (dentre elas glicerina, goma xantana, extrato de carvalho), aplicadas ao aço 20, cobre e latão, obtivendo resultados de inibição. A glicerina possivelmente formou um filme protetor nas peças dos metais usadas nos experimentos. O método utilizado foi o teste gravimétrico, e os experimentos foram realizados nas mesmas condições de temperatura, a 25° Celsius, corroborando com os resultados dos estudos de Zubaidi *et al.*, 2018, que fizeram uso em seus experimentos, na mesma temperatura, em um intervalo de tempo de 2 horas, onde a glicerina obteve uma ação inibidora de corrosão na concentração de 2 g/dm<sup>3</sup> na solução, inibindo a corrosão em 50%. Quando associados aos inibidores produzidos no estudo, obtiveram um resultado igual 91% de ação inibidora de corrosão para o aço 20 (AHMED; RYDER; ABBOTT, 2021). Os resultados da composição anticorrosiva foram superiores em eficiência de inibição. Assim, pode ser utilizada para inibir processos corrosivos, tais como decapagem química para remoção de incrustações e ferrugem de aço carbono A178 em meios contendo ácido clorídrico. Na figura 21, pode ser visto o processo de limpeza das peças.

Figura 22 — Processo de limpeza dos corpos de prova

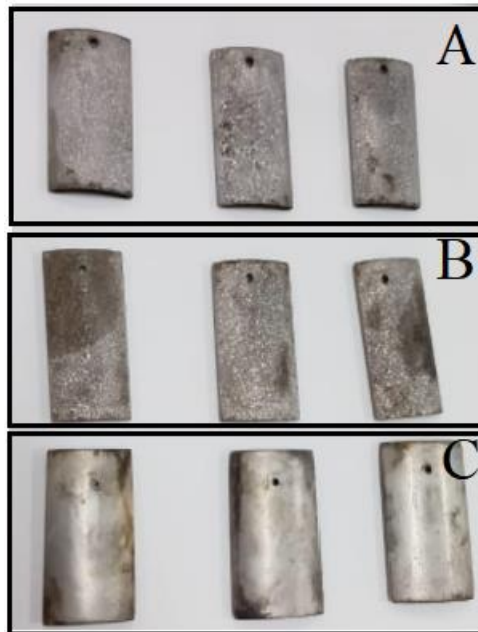


Fonte: O autor (2023).

Na figura 22, pode-se observar os corpos de prova dos três sistemas usados para o ensaio de perda de massa.

Estão os corpos de prova do sistema em branco (ausência de inibidor), o inibidor comercial e a composição anticorrosiva. Durante a limpeza para a remoção dos materiais de corrosão, usou-se uma escova de cerda macia, imersa na solução de Clark. Logo em seguida, o álcool etílico p.a. Por fim, foi seca com um soprador de ar quente. Isso pode ser observado na figura 23.

Figura 23 — Corpos de prova após ensaios de imersão de 192 horas: (A) Branco horas, (B) Inibidor Comercial, (C) Inibidor renovável



Fonte: O autor (2023).

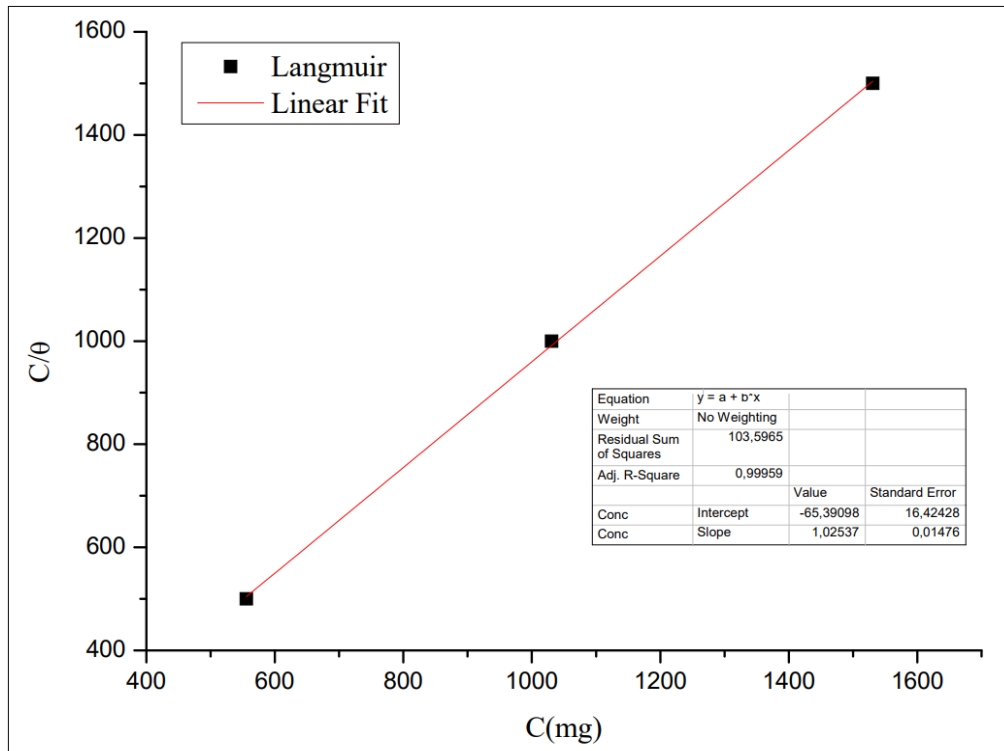
Na figura 23, “A” e “B”, estão as peças depois de limpas e aferidas as massas. Constatou-se que a estrutura cristalina das peças ficou exposta devido ao meio corrosivo. Quanto às peças em “C”, imersas na solução com a adição da composição anticorrosiva, concluiu-se que houve proteção de toda sua estrutura.

#### 4.3 Isotermas De Adsorção

Foram realizados os plots dos molelos de Langmuir, Freundlich e Temkin. Considerando o bom ajuste dos dados experimentais, assumiu-se como modelo de maior ajuste para a composição anticorrosiva desenvolvida no presente trabalho o modelo de Langmuir. Portanto, para essas condições específicas, propõe-se que uma monocamada de inibidor se forme na superfície do aço e, quando  $\theta$  se aproxima de 1, o filme tende a se tornar mais compacto, como apresentado no gráfico

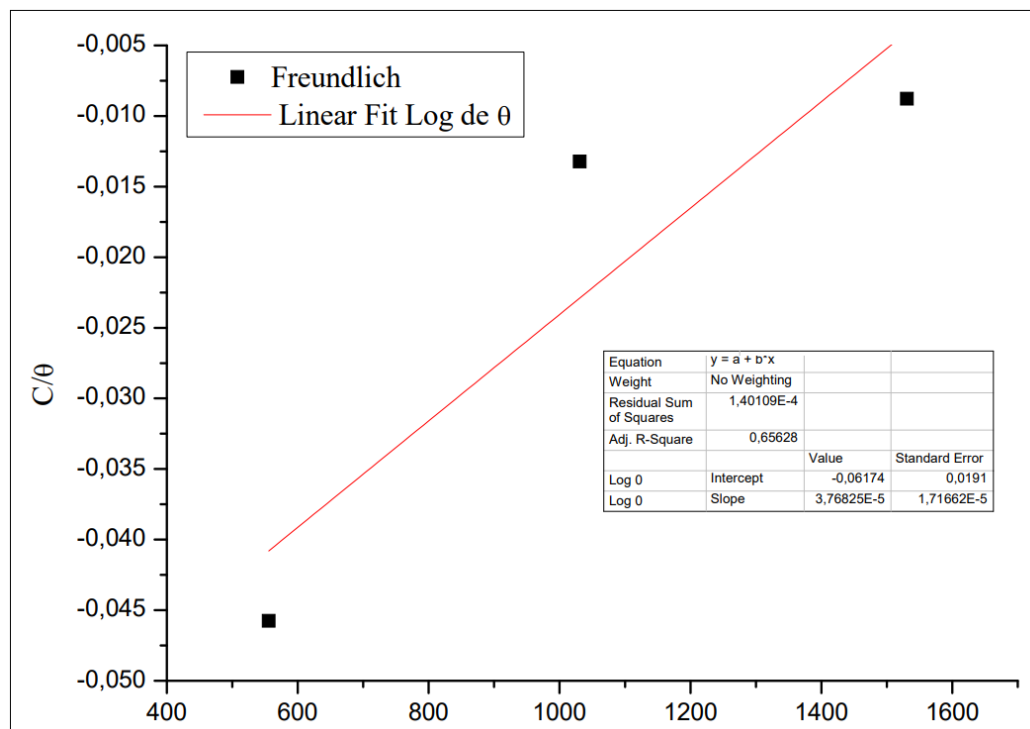
O cálculo da isoterma de Langmuir é largamente utilizado para descrever a interação de moléculas ou íons com a superfície sólida do metal. Essa técnica é útil para calcular a capacidade máxima de adsorção da superfície. Por meio dela, é possível determinar como os materiais adsorventes se comportam em diferentes condições e melhorar suas propriedades para aplicações práticas com inibidores de corrosão, que apresentam mecanismos de adsorção.

Figura 24 — Isoterma de Langmuir do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações



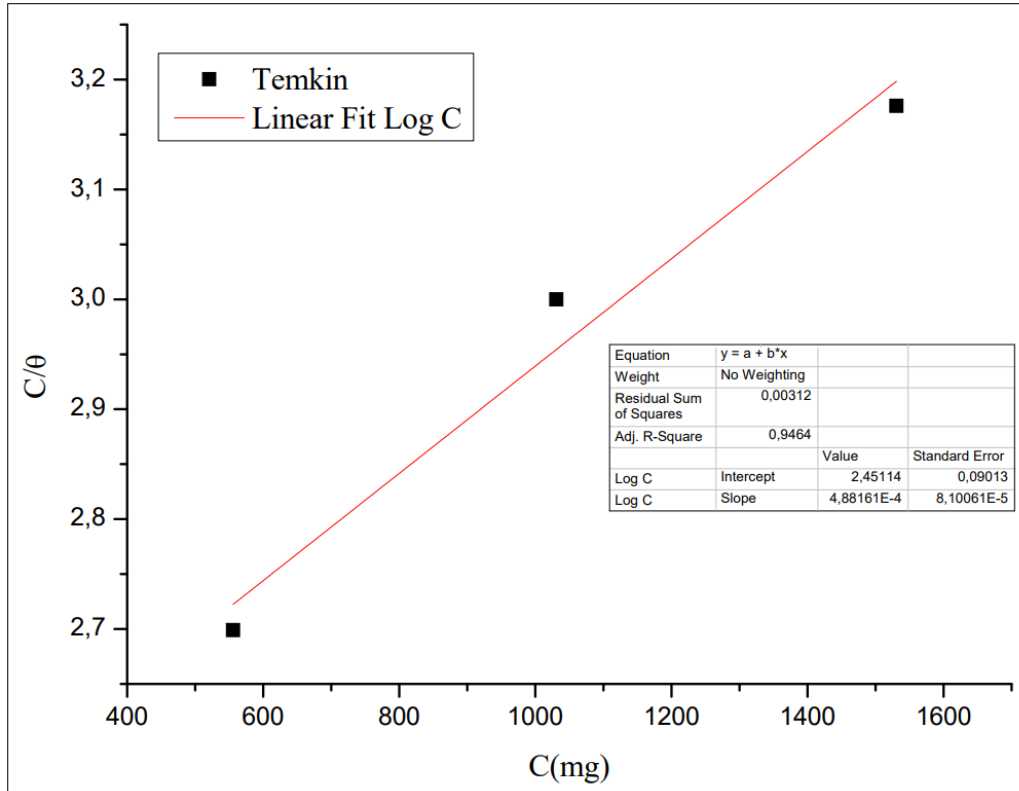
Fonte: O autor (2023).

Figura 25 — Isoterma Freundlich do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações



Fonte: O autor (2023).

Figura 26 — Isoterma de Temkin do Aço carbono ASTM A 178 em meio 0,1M HCl em várias concentrações



Fonte: O autor (2023).

Essa técnica que faz uso de cálculos matemáticos para explicar o processo de adsorção, referem-se à relação entre a quantidade de uma substância adsorvida em uma superfície e a concentração dessa substância no meio circundante. Em relação aos inibidores de corrosão orgânicos, as isotermas de adsorção fornecem informações importantes sobre a eficácia destes inibidores na prevenção da corrosão. Existem vários modelos comumente usados para descrever as isotermas de adsorção de inibidores de corrosão, incluindo as isotermas de Langmuir, Freundlich e Temkin. A isoterma de Langmuir assume que a adsorção do inibidor ocorre em uma superfície com um número fixo de sítios de adsorção e que o processo de adsorção é em monocamada (AL-AMIERY, et al., 2023).

#### 4.4 Ensaios Eletroquímicos

#### 4.5 Ensaio De Potencial De Circuito Aberto (OCP)

Em relação ao OCP, foram realizados testes para avaliar o tempo necessário para a



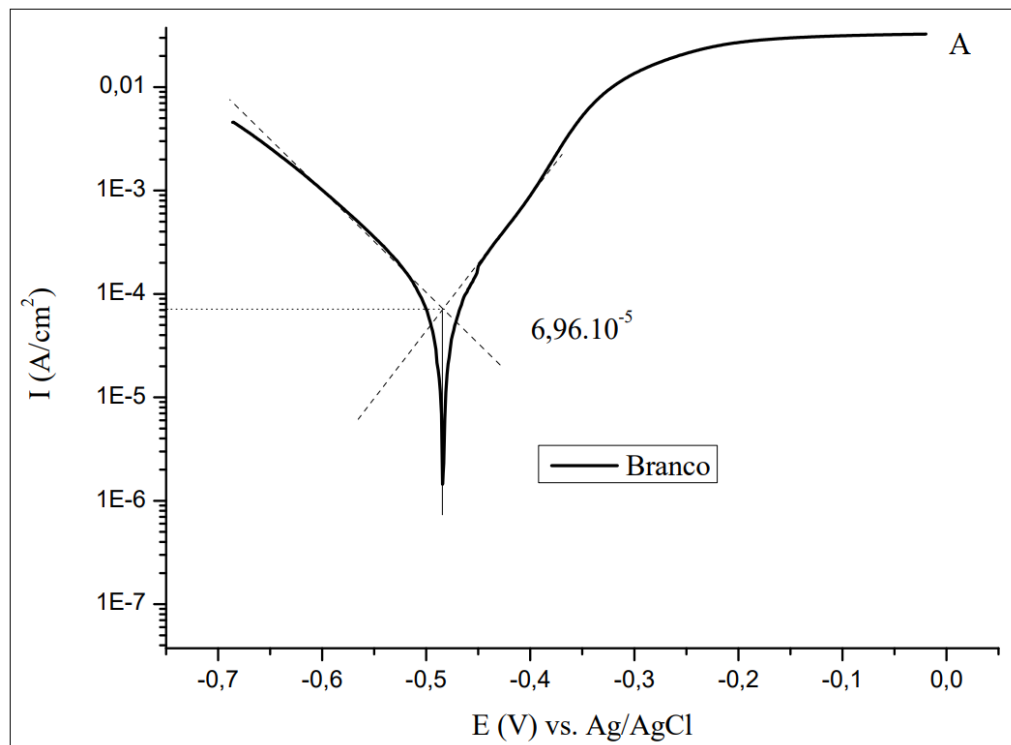
estabilização do sistema por meio da medição do potencial de circuito aberto da amostra frente ao eletrodo de referência. Após a imersão dos eletrodos, o tempo necessário para a interface metal-solução atingir um estado de equilíbrio foi de aproximadamente 3600 segundos. As curvas obtidas por esses testes são plotadas com potencial em função do tempo de análise.

#### 4.6 Polarização Potenciodinâmica (PP)

Esta técnica permite simular a formação da dupla camada eletroquímica e avaliar a cinética de corrosão, bem como os fenômenos interfaciais que ocorrem no metal.

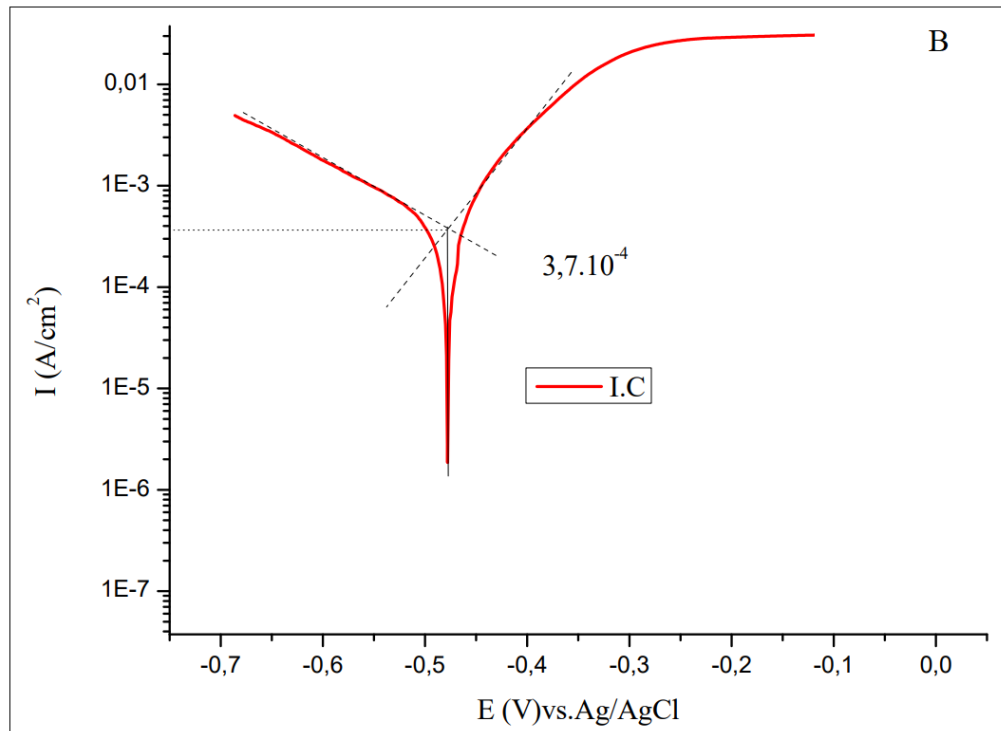
De início, foram plotadas as curvas de polarização do sistema em branco (ausência dos inibidores), apresentando apenas o meio corrosivo, o inibidor comercial e a composição anticorrosiva, nos quais foram aplicadas a técnica de extrapolação de Tafel, apresentados na figura 27 abaixo:

Figura 27 — Curva de polarização Branco (A)



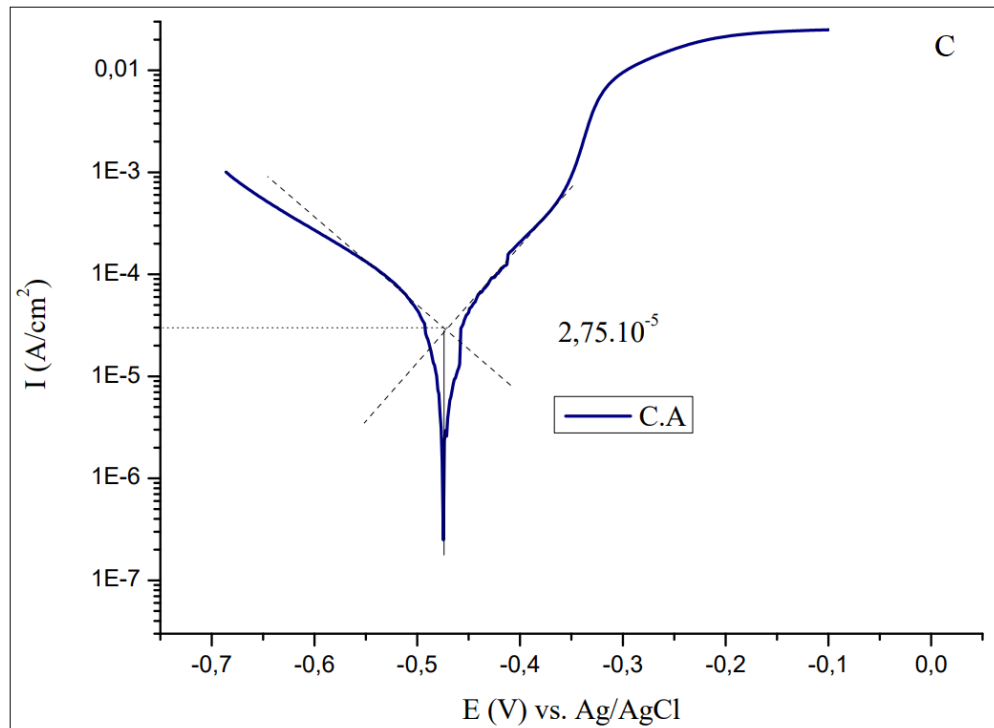
Fonte: O autor (2023).

Figura 28 — Curva de polarização Inibidor Comercial I.C (B)



Fonte: O autor (2023).

Figura 29 — Curva de polarização Composição Anticorrosivo (C.A)

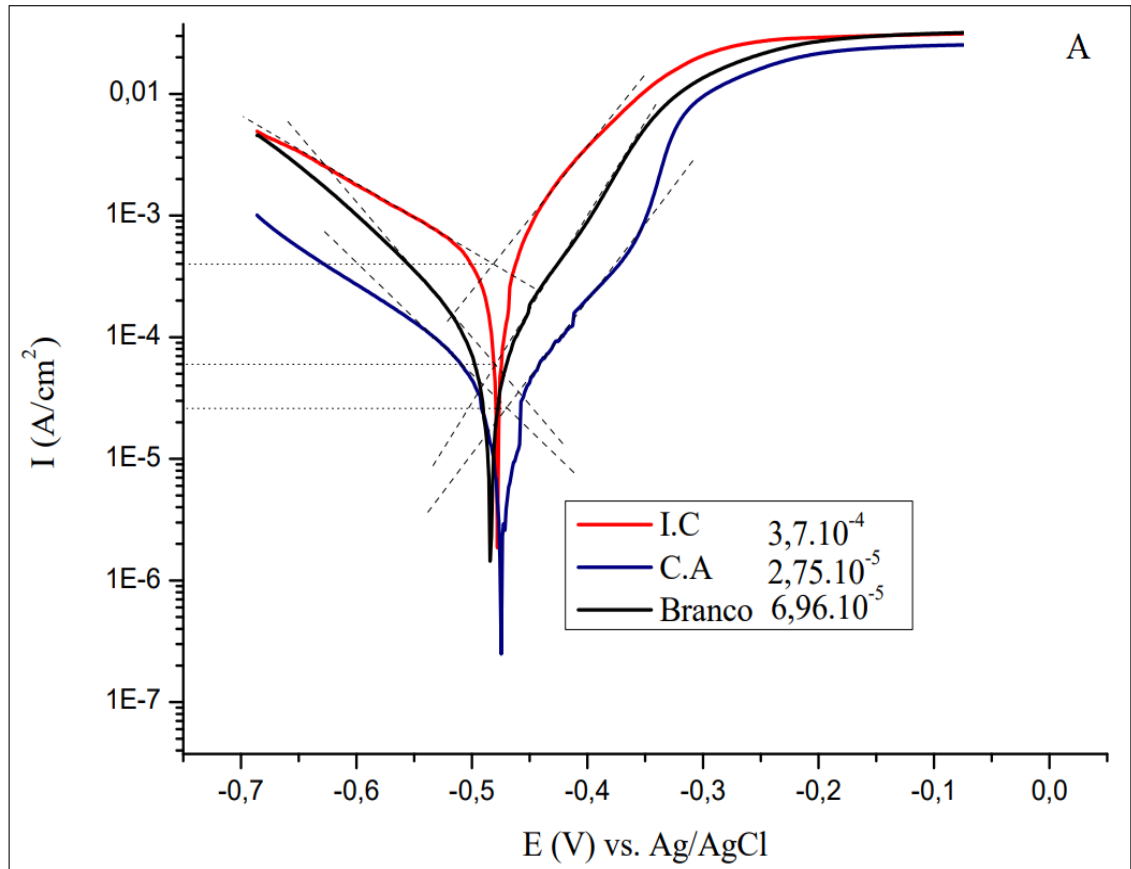


Fonte: O autor (2023).

A figura 29 mostra como foram compiladas as polarizações dos sistemas da Composição Anticorrosiva (C. A), do Inibidor Comercial e o Branco, com suas extrapolações

de tafel “A” no “B” e as curvas sem a técnica da extrapolação:

Figura 30 — Compilado dos sistemas de polarização “A” Tafel

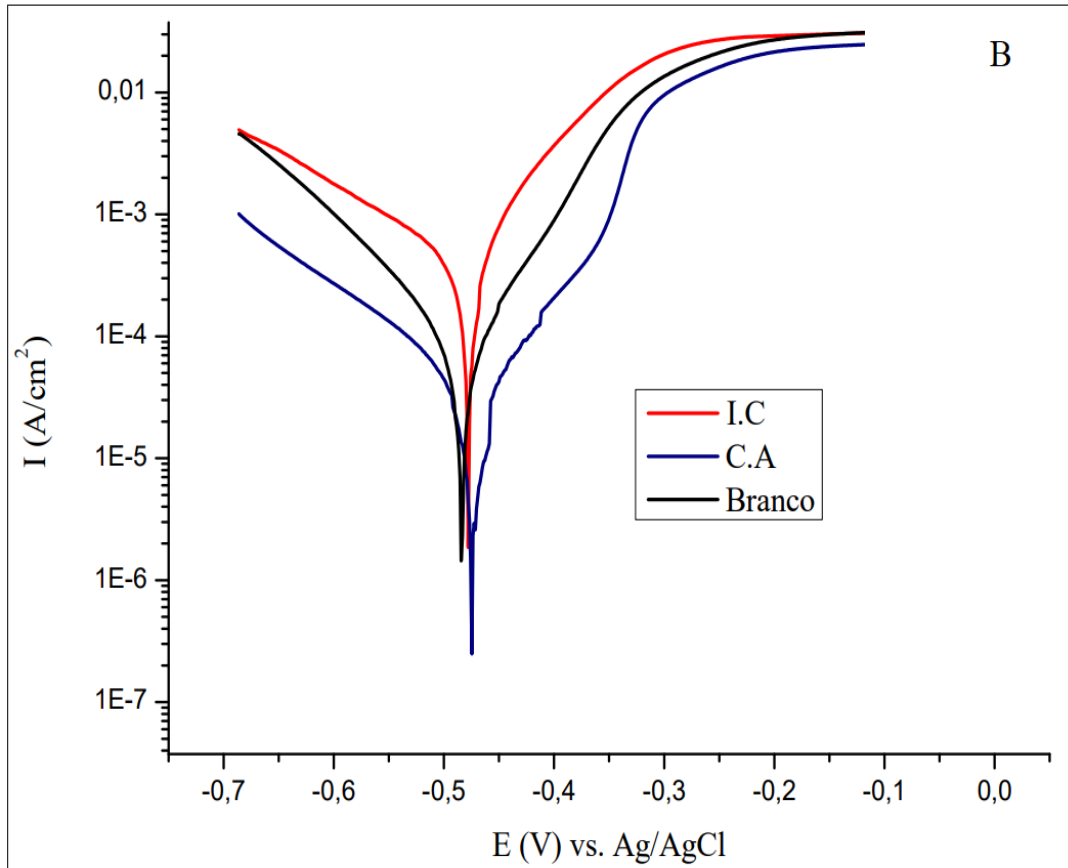


Fonte: O autor (2023).

Legenda: I.C Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva; Branco: Ausência de inibidores.

No compilado, é possível comparar em uma mesma figura os três sistemas. Foi percebido que a Composição Anticorrosiva reduziu a densidade de corrente de corrosão. Em contra partida, o Inibidor Comercial teve um comportamento característico, por se tratar de ser anódico que de início apresenta uma elevação da densidade de corrosão para então reagir com o produto de corrosão para atuar.

Figura 31 — Compilado dos sistemas de polarização “B” Sem a extrapolação de Tafel



Fonte: O autor (2023).

Legenda: I.C Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva; Branco: Ausência de inibidores.

Nas figuras são apresentadas as curvas de polarização: Composição Anticorrosiva (C.A); Inibidor Comercial (I.C); e solução em Branco. Foi percebido que o inibidor comercial elevou a densidade de corrente de corrosão e a composição anticorrosiva reduziu, indicando que o mecanismo funciona para a inibição da corrosão em meio ácido, via adsorção, ambos inibidores, pois a densidade de corrente diminui com a existência de inibidores (SOUZA *et al.*, 2022).

O inibidor comercial, nesse primeiro momento, elevou a densidade de corrente de corrosão de forma considerável. O mecanismo de ação dos inibidores à base de nitrito de sódio é caracterizado por atuar nos sítios anódicos.

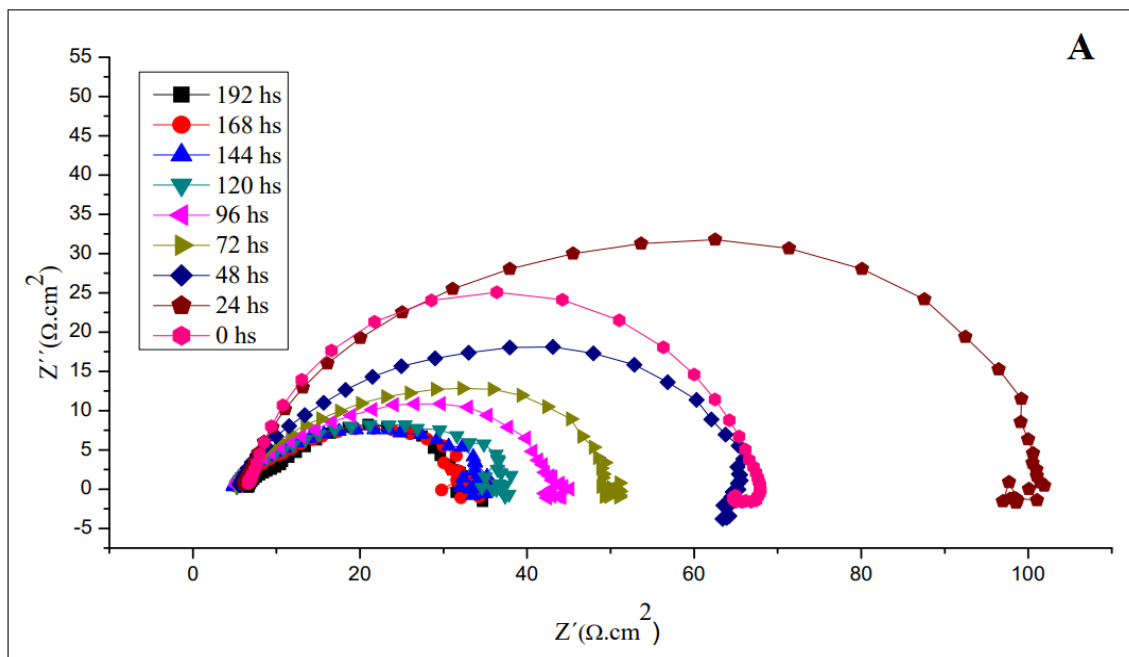
#### 4.7 Espectroscopia De Impedância Eletroquímica (EIE)

Para a realização dos ensaios eletroquímicos e o entendimento mais detalhado do processo de funcionamento do inibidor e comparação dos resultados do ensaio gravimétrico, foi realizada a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica para o sistema com o

meio corrosivo HCl 0,1M. Os ensaios tiveram o mesmo intervalo de tempo do teste de imersão, que foram de 0h às 192 horas, sendo aferidas as medições a cada 24 horas.

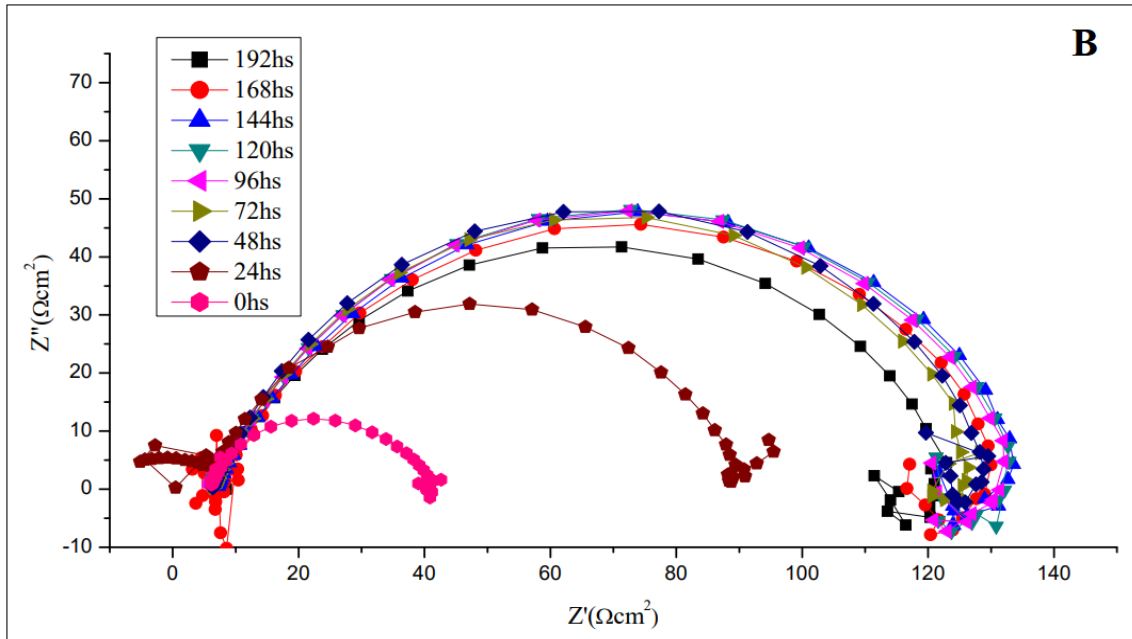
Os gráficos representados exibem, em geral, para todos os sistemas estudados (meios ácidos sem inibidor, com a composição anticorrosiva, com inibidor comercial), apenas um único arco capacitivo na faixa de frequência adotada, indicando, portanto, que a corrosão do aço carbono ASTM A178 é controlada, principalmente, pelo processo de transferência de carga. Mostram um único semicírculo deslocado ao longo do eixo de impedância real ( $Z'$  Real), indicando, assim, que os testados compostos exibem eficiência anticorrosiva controlada por um processo de transferência de carga para HCl (FRAUCHES *et al.*, 2018).

Figura 32 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> (A) na ausência de inibidor



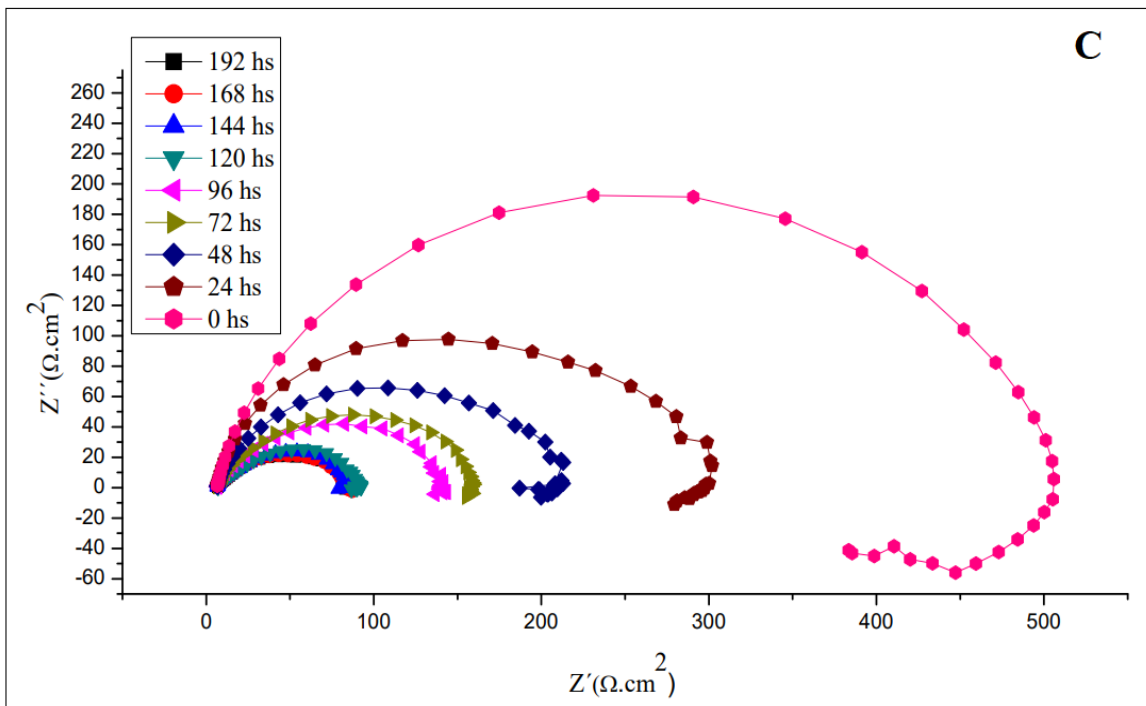
Fonte: O autor (2023).

Figura 33 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> (B) na presença do inibidor Comercial



Fonte: O autor (2023)

Figura 34 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> (C) na presença do inibidor renovável



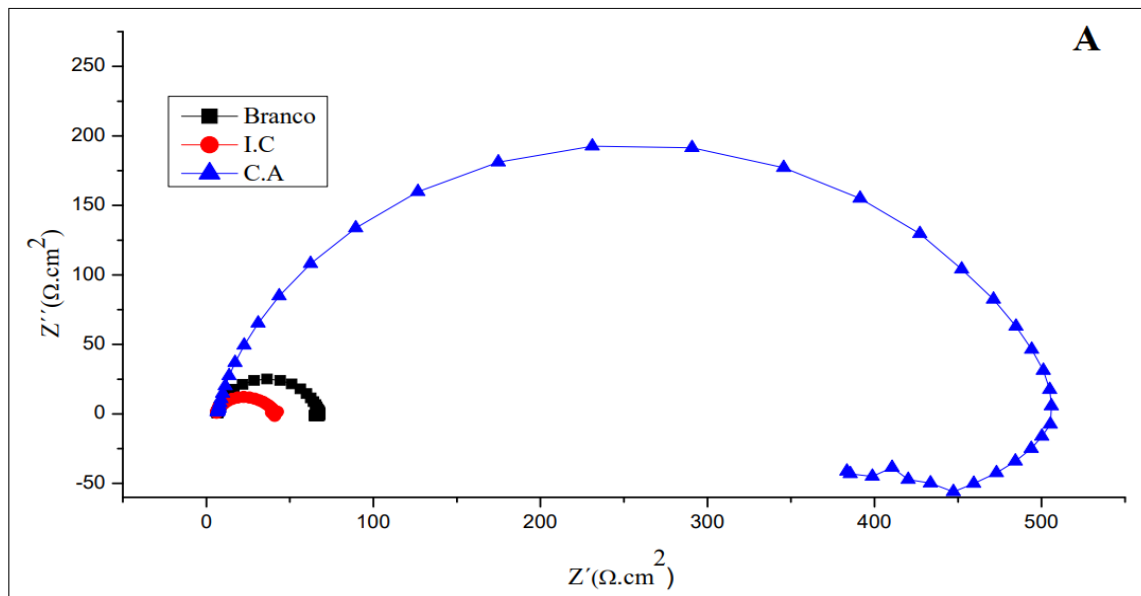
Fonte: O autor (2023).

As figuras apresentam os resultados da análise da impedância eletroquímica feita em três sistemas distintos: na “A”, apresenta realização na ausência de inibidor, apenas o meio corrosivo e os corpos de prova; o sistema “B”, na presença do inibidor comercial; e o sistema

“C” na presença da composição anticorrosiva.

Para visualizar as curvas de impedância no decorrer do tempo, foram plotadas as de 0 horas (A) na figura 35, 24 horas (B) na figura 36, 48 horas (C) na figura 37, 96 horas (D) na figura 38, 168 horas (E) na figura 39 e 192 horas (F) na figura 40. Isso foi feito de forma a melhorar a visualização das curvas dos inibidores em estudo em relação ao branco. Seguem as figuras:

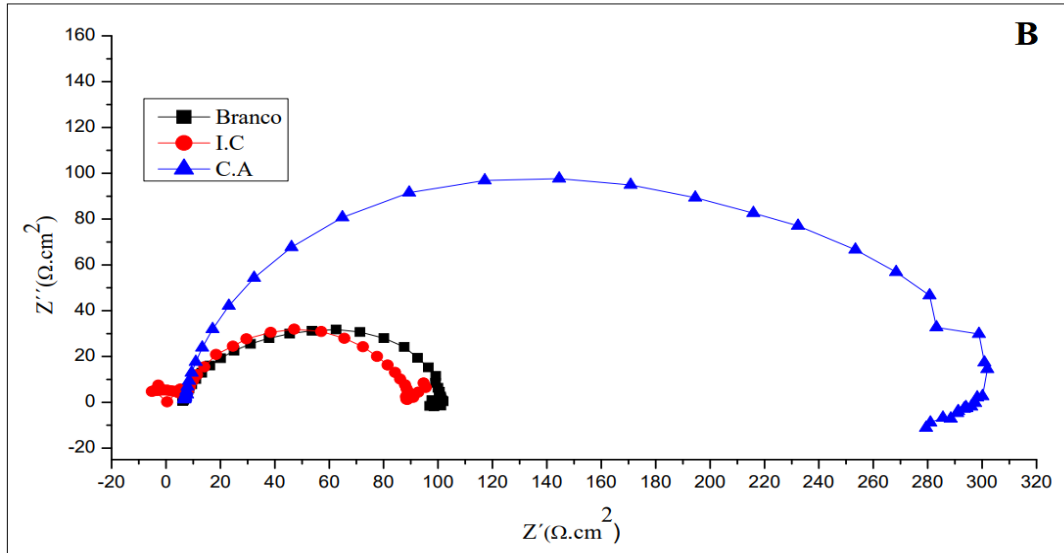
Figura 35 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (A) 0 horas



Fonte: O autor (2023).

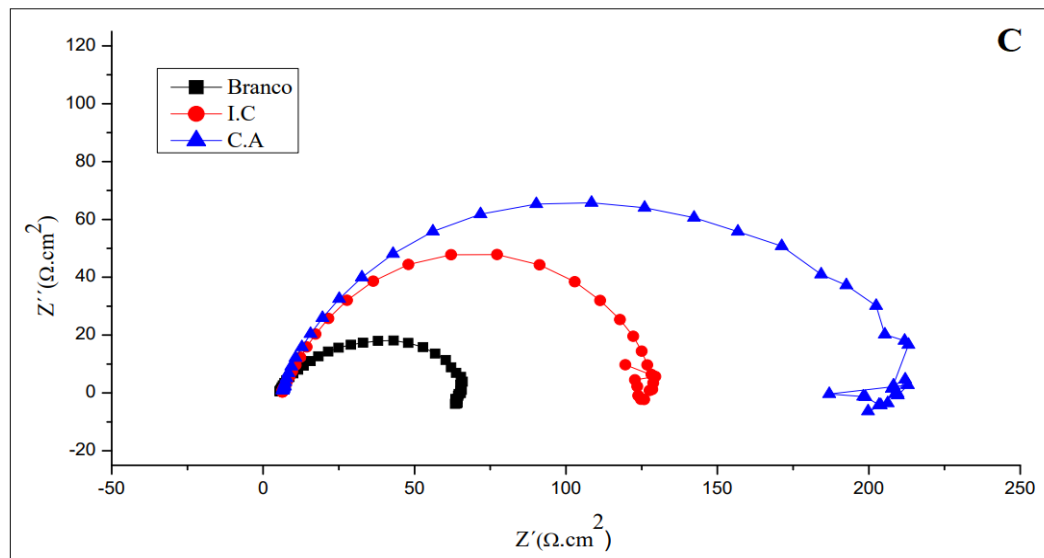
Foi observado que a composição anticorrosiva apresentou uma resistência à transferência de carga superior aos sistemas em branco e ao inibidor comercial. O inibidor comercial, nas primeiras horas, reduziu formando uma camada passiva na área anódico, a resistência à transferência de carga devido as suas características, por se tratar de um inibidor anódico.

Figura 36 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (B) 24 horas



Fonte: O autor (2023).

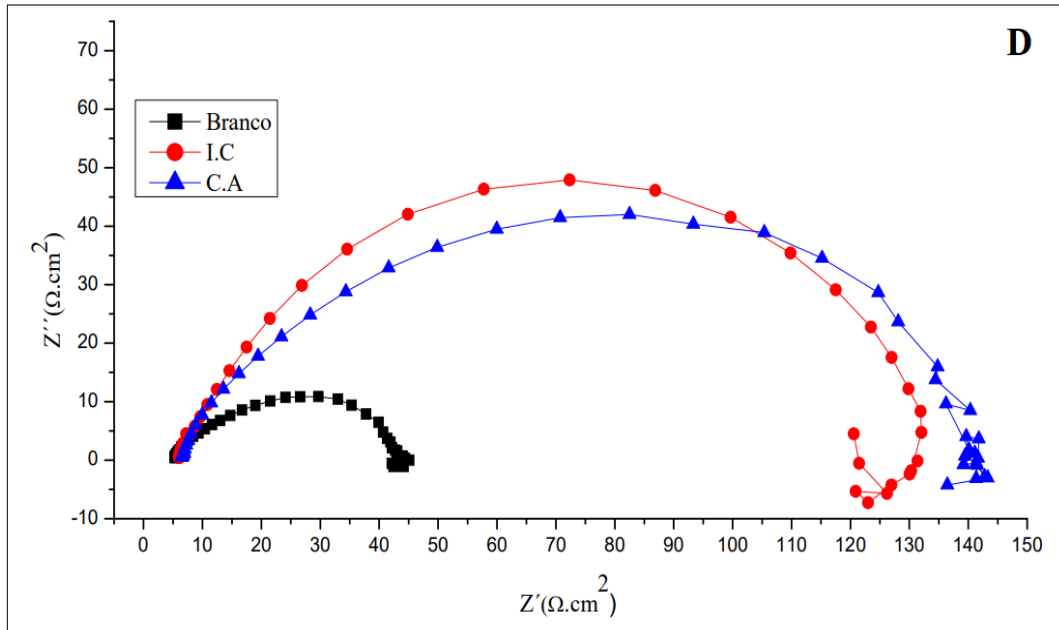
Figura 37 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (C) 48 horas



Fonte: O autor (2023).

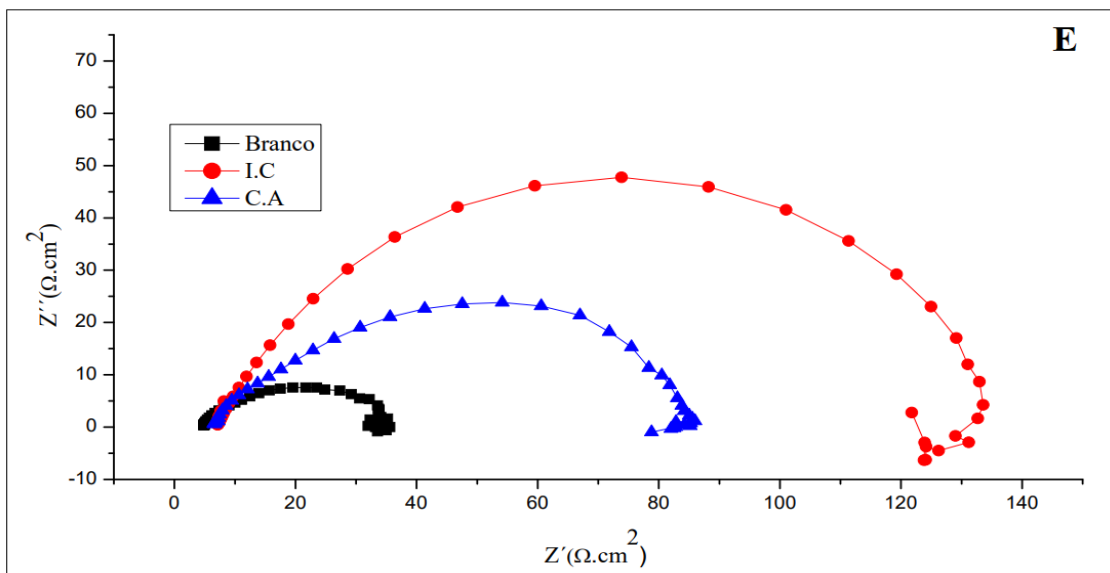


Figura 38 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (D) 96 horas



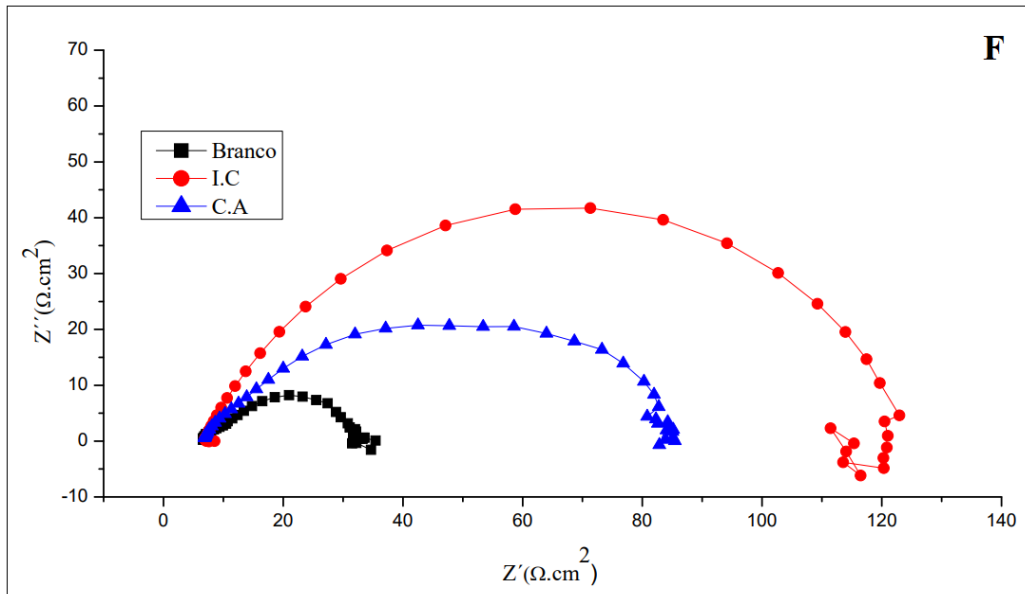
Fonte: O autor (2023).

Figura 39 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (E) 168 horas



Fonte: O autor (2023).

Figura 40 — Diagramas de Nyquist para o aço carbono ASTM A178 em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> comparando recorte em: (F) 192 horas



Fonte: O autor (2023).

Podemos observar, por meio das figuras, que os resultados dos três ensaios plotados juntos apresentam: em (A), 0 horas; em (B), 24 horas; em (C), 48 horas; em (D), 96 horas; em (E), 144 horas; e em (F), 192 horas. Depois de 48 horas, os intervalos entre um gráfico e outro foram de 48 horas, facilitando a visualização da ação do inibidor comercial e composição anticorrosiva frente à solução em branco.

É evidente, a partir dos gráficos de Nyquist, que os diagramas de impedância obtidos fornecem uma forma de semicírculo, que indica que um processo de transferência de carga controla principalmente o processo de corrosão (MELO; MAIA, 2016). No ensaio de 192 horas, foi constatado, por meio dos arcos capacitivos, que o inibidor comercial e a composição anticorrosiva apresentaram diferenças em determinadas horas: a composição renovável foi superior nas primeiras 96 horas, com uma diferença significativa; no intervalo de 144 a 192 horas, o inibidor comercial mostrou-se mais estável.

Para os dois inibidores comerciais e a composição anticorrosiva, o arco capacitivo indica a formação de um filme protetor, acarretando aumento no valor da resistência à transferência de carga e redução na capacitância da dupla camada elétrica (OLIVEIRA; CARDOSO, 2019.). Isso pode estar relacionado à adsorção de moléculas presentes no inibidor, promovendo a compactação da dupla camada elétrica presente na interface metal-solução.

A partir da análise dos gráficos de impedância, foi observado que a resistência à

transferência de carga foi caindo com o tempo em todos os sistemas. Porém, a composição anticorrosiva foi superior nas primeiras 96 horas, corroborando com os testes gravimétricos, evidenciando que a composição anticorrosiva pode ser usada como inibidor de corrosão em caldeiras, tubulações de aço carbono e em soluções de limpeza e decapagem com ácido clorídrico.

Foi realizado, a partir dos ensaios de impedância, o cálculo da eficiência de inibição por meio da técnica eletroquímica de espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados estão foram disponibilizados na Tabela 07.

Tabela 07 — Parâmetros de impedância para o aço carbono ASTM A178 imerso em HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> em função do tempo

Tempo Imersã o (h)	Sem Inibidor			Composição Anticorrosiva				Inibidor Comercial			
	R <sub>ct</sub> (Ω.cm <sup>2</sup> )	f <sub>max</sub> (Hz)	C <sub>dl</sub> (μF.cm <sup>-2</sup> )	R <sub>ct</sub> (Ω.cm <sup>2</sup> )	f <sub>max</sub> (Hz)	C <sub>dl</sub> (μF.cm <sup>-2</sup> )	% IE	R <sub>ct</sub> (Ω.cm <sup>2</sup> )	f <sub>max</sub> (Hz)	C <sub>dl</sub> (μF.cm <sup>-2</sup> )	% IE
0	67,79	55,20	42,43	506,40	13,22	23,77	86,61	41,42	38,62	9,92	-63,66
24	101,79	9,25	169,11	301,40	18,90	27,49	66,22	88,86	4,52	39,54	-14,87
48	65,26	6,47	37,71	209,48	13,22	5,44	68,84	128,28	2,21	56,16	49,12
72	50,10	9,25	34,36	158,42	13,22	46,03	68,37	125,81	1,55	57,27	60,17
96	44,18	112,7	31,98	142,67	9,25	12,06	69,03	130,86	1,55	78,50	66,23
120	37,29	6,47	65,99	92,76	4,52	37,97	59,79	131,94	1,55	77,86	71,73
144	35,57	6,47	69,19	83,86	6,47	29,34	57,58	131,50	1,55	78,12	72,95
168	32,67	4,52	10,78	82,72	9,25	20,81	60,50	129,37	1,55	79,40	74,24
192	31,68	4,52	11,12	81,71	13,22	14,74	61,22	121,17	1,55	84,78	73,85

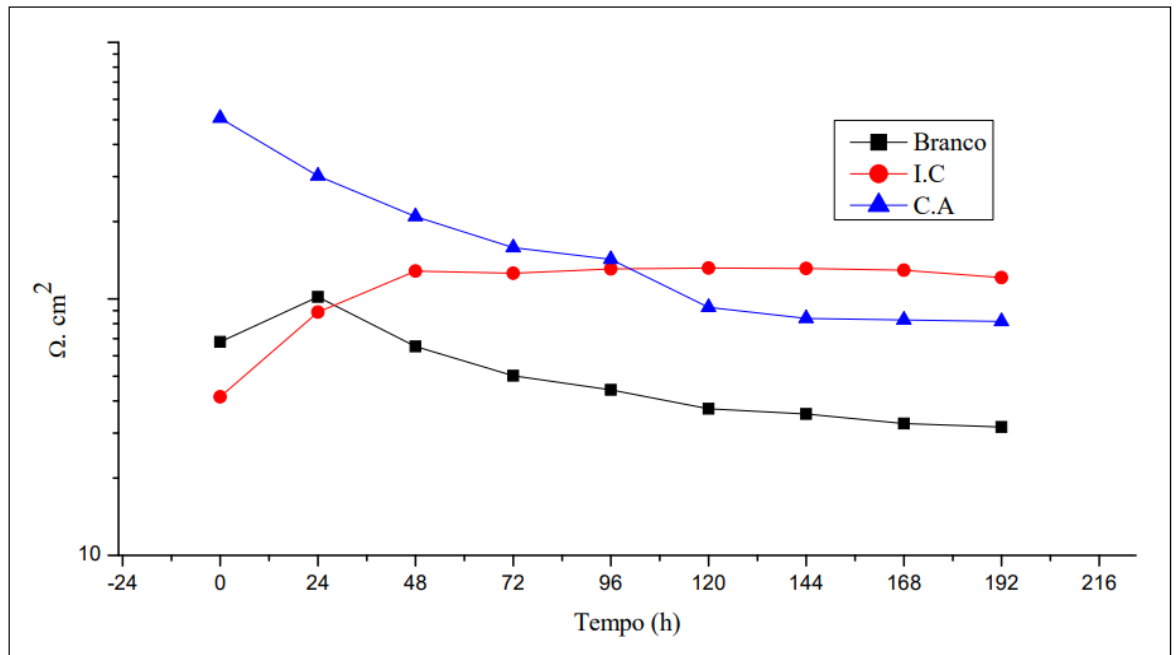
Fonte: O autor (2023).

Legenda: R<sub>ct</sub>: Resistência; f<sub>max</sub>: Frequência máxima; C<sub>dl</sub>: Capacitância; %IE: Eficiência do inibidor.

Na tabela 07, pode ser observado que a composição anticorrosiva apresentou, nas primeiras horas, uma eficiência superior a 86% em relação à solução em branco e ao inibidor comercial, que, nesse mesmo intervalo de tempo, e, em 24 horas, foi observado uma redução da resistência à transferência de carga. Essa é uma característica de inibidores anódicos. Pode ser observado, que nas primeiras 96 horas, a composição anticorrosiva foi superior ao inibidor comercial, que teve seu desempenho máximo às 168 horas, e um pequeno declínio às 192 horas.

Por meio dos dados da técnica eletroquímica de espectroscopia de impedância, foram plotadas as cargas da densidade de corrente de corrosão R<sub>ct</sub>. Com isso, ficou visível a diferença na densidade de corrosão da composição anticorrosiva, o inibidor comercial e a solução em branco, ou seja, ausente de inibidores. Estão apresentados na figura 40.

Figura 41 — Corrente de corrosão dos sistemas Composição Anticorrosiva (C.A), Inibidor Comercial (I.C) e solução em Branco

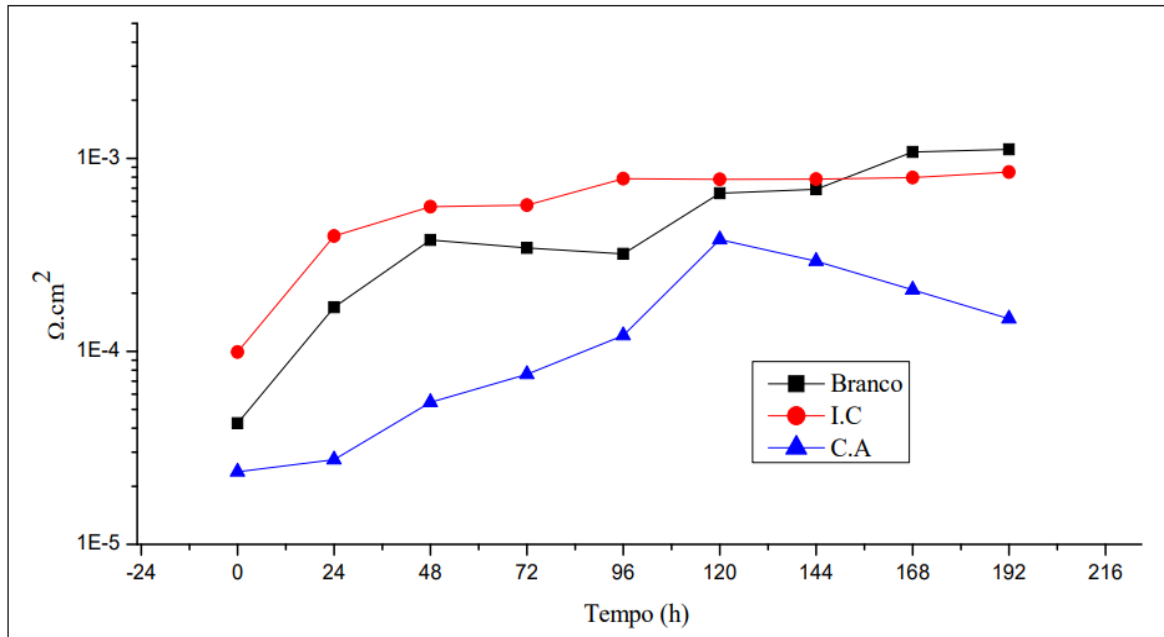


Fonte: O autor (2023).

Foi observado que a resistência à transferência de carga da composição anticorrosiva desenvolvida no referido trabalho, nas primeiras 96 horas, foi superior ao branco e ao inibidor comercial, e reduziu gradativamente. O inibidor comercial teve o seu pico de resistência à transferência de carga no intervalo de 48 horas, mantendo-se mais ou menos estável até às 168 horas, quando começou a declinar. Foi observado que o inibidor à base de Nitrito de sódio é caracterizado por ser um inibidor anódico. Nas primeiras 24 horas, sua resistência à transferência de carga foi inferior à solução em branco, caracterizando o mecanismo de funcionamento de inibidores anódicos.

A capacitância da dupla camada das amostras em branco, da composição anticorrosiva e do inibidor comercial foram plotadas na figura 42, a seguir:

Figura 42 — Capacitância da dupla camada dos sistemas em estudo



Fonte: O autor (2023).

Legenda: I.C Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva; Branco: Ausência de inibidores.

Na figura 42 pode ser verificado o plot dos sistemas branco, composição anticorrosiva (C.A) e inibidor comercial (I.C), no decorrer das 192 horas de experimento. O gráfico da dupla camada eletrônica foi crescendo ao longo do tempo, é um conceito fundamental na área da eletroquímica e da interface sólido-líquido. Esta camada consiste em duas regiões distintas: a camada interna de carga elétrica e a camada externa de difusão de íons.

#### 4.8 Ensaio De Ecotoxicidade Em Zebrafish

O ensaio com o zebrafish é largamente utilizado para as avaliações toxicológicas em categorias de saúde, segurança ambiental, biossegurança (JIA, *et al.* 2019). A partir dos resultados observados nos ensaios de toxicidade ambiental, foram constatados que o controle (Naive) não apresentou óbitos no decorrer do ensaio. Relativo aos inibidores comerciais, foram registrados 7 óbitos, no total, sendo: 1, na concentração de 500 mg/L, em 48 horas; 2, em 72 horas; 1, em 96 horas, na concentração de 125mg/L; 2 óbitos, em 72 horas; e 1, em 96 horas. A composição anticorrosiva com o tratamento apresentou um total de óbito de 4 peixes, sendo: 2 na concentração de 250 mg/L; e 2 na concentração de 125 mg/L, ambos em 72 horas. Já a composição anticorrosiva sem tratamento só não apresentou óbito na concentração de 62mg/L. Os resultados estão apresentados na tabela com os dados da composição

anticorrosiva tratada e o inibidor comercial e na figura 42 análises de sobrevivência total, abaixo.

Tabela 08 — Número de mortos teste de ecotoxicidade

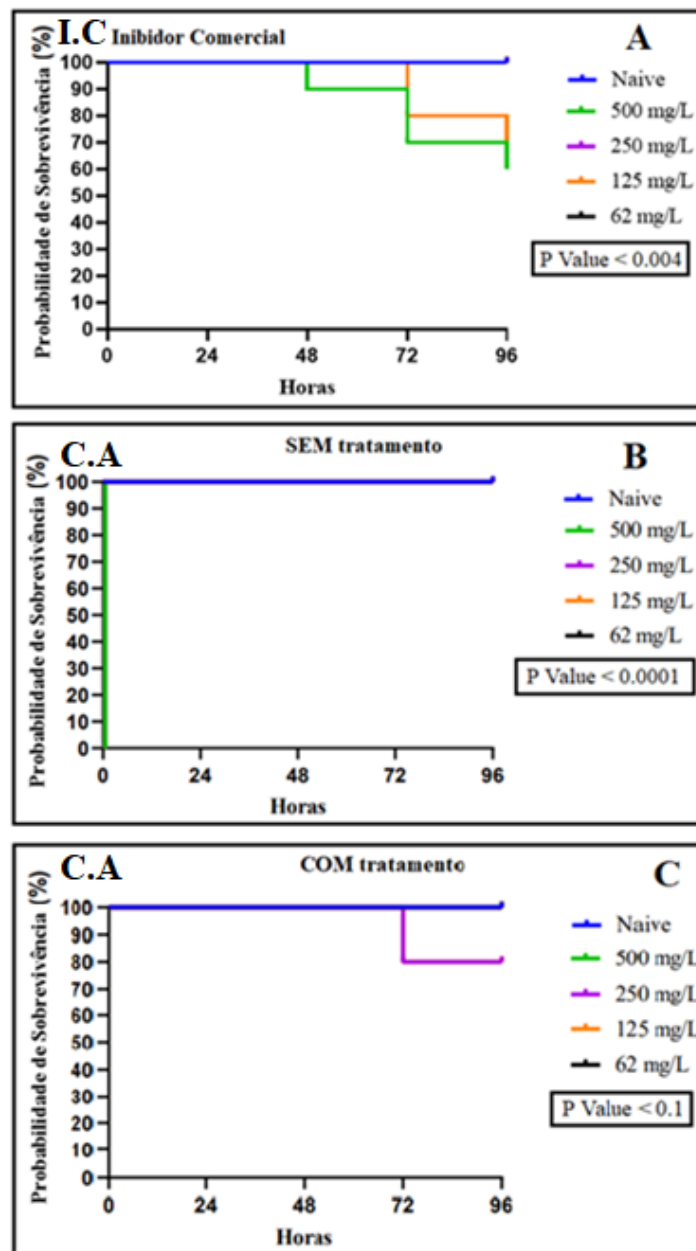
Tempo horas (h)	0h	24h	48h	72h	96h
<b>Inibidores</b>					
*C.A 500mg/L	0	0	0	2	0
*C.A 250mg/L	0	0	0	2	0
*C.A 125mg/L	0	0	0	0	0
*C.A 62 mg/L	0	0	0	0	0
I.C 500 mg/L	0	0	1	2	1
I.C 250 mg/L	0	0	0	2	1
I.C 125 mg/L	0	0	0	0	0
I.C 62 mg/L	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2024).

Legenda: \*C. A: Composição Anticorrosiva com tratamento; I.C: Inibidor Comercial.

Foi observado por meio do quantitativo de óbitos que a Composição Anticorrosiva com tratamento (C.A) apresentou um número de óbitos menor no decorrer do experimento, um total de 4 apenas, no entanto o Inibidor Comercial (I.C) foram verificadas um total de 7 óbitos no mesmo intervalo de tempo.

Figura 43 — Análise de sobrevivência total em porcentagem, inibidor comercial e inibidor renovável SEM tratamento e COM tratamento



Fonte: O autor (2023).

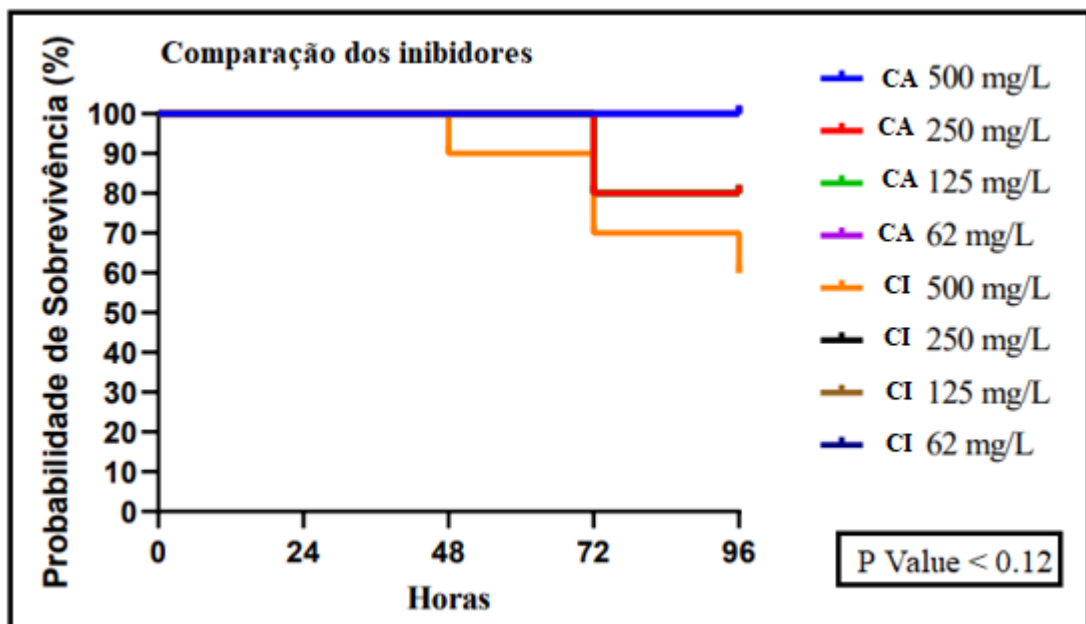
Legenda: I.C Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva; Branco: Ausência de inibidores.

A figura 43 apresenta os resultados do teste de sobrevivência total: o sistema “A”, inibidor comercial, nas quatro concentrações, em comparação ao Naive; em “B”, podem ser observadas as curvas de sobrevivência da solução anticorrosiva sem tratamento, que apresentou um grande número de óbitos nas concentrações 500mg, 250 mg, 125mg, com exceção na concentração de 62 mg, que não foi registrado nenhum óbito; em “C”, é

observável que a solução anticorrosiva, após tratamento com carvão ativado, obteve uma redução nos óbitos de forma considerável.

As análises estatísticas mostraram que as curvas de Kaplan-Meier do inibidor comercial apresentaram uma diferença significativa em relação ao controle. Já o inibidor renovável, quando tratado com o carvão ativado, não apresentou diferença da curva de controle, mostrando que o inibidor renovável é menos tóxico que o controle positivo, no caso o inibidor comercial.

Figura 44 — Comparação das curvas de Kaplan-Meier da Composição Anticorrosiva (C.A) e inibidor comercial (I.C)



Fonte: O autor (2023).

Legenda: I.C Inibidor Comercial; C.A: Composição Anticorrosiva.

Por meio do teste estatístico de log-rank, usado para comparar curvas de sobrevivência são estatisticamente significativas, observa-se que não apresentaram diferenças significativas relevantes. Na figura 44, foram analisadas as curvas dos inibidores do estudo em questão.

## 5 CONCLUSÕES



Os ensaios gravimétricos mostraram que a solução anticorrosiva, contendo a glicerina e propilparabeno, foi de elevada significância em sua função de reduzir a perda de massa com eficiência de inibição superior a 97% frente ao inibidor comercial à base de nitrito de sódio e borax, que reduziu apenas 66,7%, nas primeiras 24 horas, no ensaio de 192 horas de imersão. Constatou-se que a eficiência de inibição dos inibidores no meio ácido estudado diminui com o tempo de imersão.

Os ensaios eletroquímicos de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica corroboram com os resultados obtidos no ensaio de perda de massa, com destaque para a espectroscopia de impedância, que foi realizada com o mesmo tempo de imersão dos ensaios gravimétricos, cuja composição anticorrosiva dentro sistema mostrou uma maior resistência à corrosão nas primeiras 96 horas.

A análise da ecotoxicidade da solução anticorrosiva com o tratamento usando o carvão ativado teve um resultado estatisticamente igual à solução usada como controle, em que não se apresenta toxicidade significativa, e o inibidor comercial em sua análise estatística foi diferente da curva de controle, porém estatisticamente igual à composição anticorrosiva.

A partir dos resultados obtidos, a solução anticorrosiva pode ser aplicada em caldeiras, tanques usados para armazenar água de processos industriais, em banhos de decapagem ácida com ácido clorídrico, tubulações de aço carbono e poços de recuperação de petróleo e gás.

## 6

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. [ANP]. **E&P Produção média nacional de petróleo e gás bate recorde em 2023**, 2023
- AHMED, E. I.; RYDER, K. S.; ABBOTT, A. P. Corrosion of iron, nickel and aluminium in deep eutectic solvents. **Electrochimica Acta**, v. 397, 20 nov. 2021.
- AL-AKHRAS, N.; MASHAQBEH, Y. Potential use of eucalyptus leaves as green corrosion inhibitor of steel reinforcement. **Journal of Building Engineering**, v. 35, 1 mar. 2021.
- AL-AMIERY, Ahmed A.; ISAHAK, Wan Nem Roslam Wan; AL-AZZAWI, Waleed Khalid. Inibidores de corrosão: inibidores orgânicos naturais e sintéticos. **Lubrificantes**, v. 11, n. 4, pág. 174, 2023.
- ALLEONI, L. R. F; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 379-387, 1998.
- ASTM - American Society for Testing Materials, 1999. **ASTM G31-72 (2021)**. Standard practice for laboratory immersion corrosion testing of metals, Philadelphia, USA, 2021.
- ATLI, E. The effects of ethylparaben and propylparaben on the development and fecundity of *Drosophila melanogaster*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 92, 2022, 103856, ISSN 1382-6689, <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103856>.
- BAHLAKEH, Ghasem *et al.* Novel cost-effective and high-performance green inhibitor based on aqueous *Peganum harmala* seed extract for mild steel corrosion in HCl solution: detailed experimental and electronic/atomic level computational explorations. **Journal of Molecular Liquids**, v. 283, p. 174-195, 2019.
- BERDIMURODOV, E. *et al.* Novel glycoluril pharmaceutically active compound as a green corrosion inhibitor for the oil and gas industry. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 907, 15 fev. 2022a.
- CAO, L.; PENG, R.; DENG, Z. Optimization study on high-temperature corrosion prevention of the water wall of a 1000 MW dual circle tangential boiler during operation. **Energy Reports**, v. 7, p. 915-925, 2021.
- CEGER, P.; *et al.* Evaluation of the fish acute toxicity test for pesticide registration. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 139, p. 105340, 2023.
- CHEN, H.; PAN, X. Investigação do efeito da proteção catódica e do inibidor de imidazolina no desempenho eletroquímico do aço 20MnSi sob condições de temperatura alternada. **Revista Internacional de Ciência Eletroquímica**, v. 11, p. 221137, 2022.
- CHEN, Y.; *et al.* Visualizando o comportamento de adsorção do inibidor de corrosão dodecil sulfato de sódio na superfície da liga de Mg por uma nova estratégia de marcação por fluorescência. **Ciência de Superfície Aplicada**, p. 158624, 2023.

- CHEN, Y.; *et al.* The corrosion behaviors of carbon steel under the effect of AC and imidazoline quaternary ammonium salt corrosion inhibitor. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 18, n. 6, p. 100143, 2023.
- CHERRAD, S.; *et al.* Cupressus arizonica fruit essential oil: A novel green inhibitor for acid corrosion of carbon steel: Cupressus arizonica fruit essential oil. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 6, 1 jun. 2022.
- DA SILVA, K. A.; *et al.* Aplicação da Trietilamina como Inibidor de Corrosão do Aço API em meio de Cloreto. **Acta Scientiae et Technicae**, v. 6, n. 1, p. 63-73, 2018.
- DE MEDEIROS MORAIS, R.; *et al.* Produção de carvão ativado a partir de Eucalyptus dunnii para adsorção de corante azul de metileno. **Ciência da Madeira Brazilian Journal of Wood Science**, v. 10, n. 1, 2019.
- DE MELO, Grazielma F.; *et al.* Análise de diferentes fontes de água tratada por osmose reversa para aplicação em caldeiras industriais. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 138-147, 2021.
- DE SAMPAIO, M. T. G.; *et al.* Avaliação do extrato aquoso das folhas de Mandevilla fragrans como inibidor de corrosão ambientalmente correto para aço doce em meio ácido. **Journal of Bio-and Tribo-Corrosion**, v. 7, p. 1-11, 2021.
- DE OLIVEIRA, M. C. L.; *et al.* Investigando processos de corrosão local de ligas de magnésio com técnicas eletroquímicas de sonda de varredura: uma revisão. **Revista de Magnésio e Ligas**, v. 10, n. 11, pág. 2997-3030, 2022.
- DONG, Liming et al. Na-CDs como um inibidor de corrosão ecologicamente correto e eficiente para Q235 em 1 M HCl. **Jornal Árabe de Química**, p. 105660, 2024.
- EL AZZOUZI, M.; *et al.* Moroccan, Mauritania, and senegalese gum Arabic variants as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl: Weight loss, electrochemical, AFM and XPS studies. **Journal of Molecular Liquids**, v. 347, 1 fev. 2022.
- FERNANDES, F. D.; FERREIRA, L. M.; DA SILVA, M. L. C. P. Evaluation of the corrosion inhibitory effect of the ecofriendly additive of Terminalia Catappa leaf extract added to soybean oil biodiesel in contact with zinc and carbon steel 1020. **Journal of Cleaner Production**, v. 321, p. 128863, 2021.
- FERNANDES, L. D.; *et al.* Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 1, p. e3981628-e3981628, 2019.
- FERNANDES, L.D; RUAS, L.V; SILVA, A.A da; CASTRO, D.L de; CARDOSO, S.P. Extratos de folhas e flores como inibidores de corrosão de origem vegetal. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 8, n. 1, pág. e3981628, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i1.628. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/628>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- FRAUCHES-SANTOS, C.; *et al.* A corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista virtual**

de química, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2014.

FRAUCHES-SANTOS, C.; BAUERFELDT, G. F.; ECHEVARRIA, A. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Acids by Novel 1, 3, 4-Thiadiazolium-2-Phenylamine Salts. **Int. J. Electrochem. Sci**, v. 13, p. 6978-6995, 2018.

GASPARONI, A. G. Corrosão de estruturas metálicas em águas e sua proteção.: **Rfb Editora**, 2020.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Livro Técnico e Científicos, 2017.

GONZAGA, G. B. M.; CRUZ, J. de B. M.; VASCONCELOS, R. V. Inibidores De Corrosão Metálica Em Colunas De Perfuração. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 3, 2018.

GROSSER, F. N. **Inibidores Orgânicos de Corrosão - Estudos com compostos químicos naturais usando diferentes tipos de mentas**. 2015. 97f. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

GRUMO, J.; *et al.* Corrosion protection properties of pineapple (Ananas comosus) leaves nanocellulose reinforced in epoxy nanocomposite coatings on mild steel. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

HADZICHA. *et al.* Effect of polyalcohols on the anticorrosive behaviour of alkyd coatings prepared with drying oils. **Progress in Organic Coatings**, v. 145, 1 ago. 2020.

HOU, B. *et al.* The cost of corrosion in China. **npj Materials Degradation**, v. 1, n. 1, 1 dez. 2017.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Siderurgia em Números**. Instituto Aço Brasil, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. [IBRAM]. **Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada**, 2020.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology**, 2<sup>o</sup> ed. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1351/goldbook>. Acesso em: 13/12/2019 às 13:00.

JIA, H-R.; *et al.* Nanomaterials meet zebrafish: Toxicity evaluation and drug delivery applications. **Journal of Controlled Release**, v. 311, p. 301-318, 2019.

Ji, Yongchen. The activation study of activated charcoal for radioactive off-gas treatment systems in NPPs. **Results in Engineering**, v. 21, p. 101831, 2024.

KAHKESH, H.; ZARGAR, B. Corrosion protection evaluation of Allium Jesdianum as a novel and green source inhibitor for mild steel in 1M HCl solution. **Journal of Molecular Liquids**, v. 344, 15 dez. 2021.

KOBZAR, Y. L.; FATYEYEVA, K. **Ionic liquids as green and sustainable steel corrosion**

**inhibitors: Recent developments** *Chemical Engineering Journal* Elsevier B.V., 1 dez. 2021.

KUMAR, P.; *et al.* Estudos experimentais e teóricos do líquido iônico tetrafluoroborato de hexilmetilimidazólio como inibidor de corrosão catódica para aço-carbono. **Comunicações de Química Inorgânica**, v. 110110, 2022.

LAI, Xin et al. Chitosan derivative corrosion inhibitor for aluminum alloy in sodium chloride solution: A green organic/inorganic hybrid. **Carbohydrate Polymers**, v. 265, p. 118074, 2021.

MELO, R. de S.; MAIA, F. T. M. Avaliação do uso de circuitos equivalentes na análise por impedância eletroquímica de revestimentos anticorrosivos. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 02, p. 2-9, 2016.

MILHOMEM, M. P. de S. **Estudos de isothermas no processo de adsorção–revisão**. 2021.

MOHANA, K.N.; BADIEA, A. M. Efeito da mistura de nitrito de sódio e bórax na taxa de corrosão do aço de baixo carbono em meio de água industrial. **Ciência da Corrosão**, v. 50, n. 10, p. 2939-2947, 2008.

NACE, **Internation Meassures of prevention, aplication, and economics of corrosion Technologies Study**, NACE International, 15835 Ten Place, Houston, TX 77084. 2016.

NASCIMENTO, R. F. do.; *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2020.

OLIVEIRA, A.; CAROLINE RODRIGUES FELICIANI, E.; PUJOL KAUFMANN, K.; ROSENIAIM APPELT, H. Avaliação da ocorrência de parabens em cosméticos. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 2, 28 ago. 2020.

OLIVEIRA, C. M. B. de.; *et al.* Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo Langmuir. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1805-1815, 2014.

OLIVEIRA, T. M. de.; CARDOSO, S. P. Avaliação do chá branco como potencial inibidor de corrosão. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, 2019.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO [OCDE]. Efeitos em sistemas bióticos Diretriz de teste nº 203 **Peixe, teste de toxicidade aguda**, Paris: OCDE, 2019.

RAMEZANZADEH, M.; BAHLAKEH, G.; RAMEZANZADEH, B. Elucidating detailed experimental and fundamental understandings concerning the green organic-inorganic corrosion inhibiting molecules onto steel in chloride solution. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, p. 111212, 2019.

SILVA, Francisco A. et al. ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO PREPARADO A PARTIR DA CASCA DO TAMBORIL (*Enterolobium contortisiliquum*). **Química Nova**, v. 47, n. 3, p. e-20230106, 2024.

SILVA, J. K. P. M. da. **Estudo de caso a respeito da corrosão encontrada em veículos automotores**. 2023.

SILVA, M.V.F.; *et al.* Corrosão do aço-carbono: uma abordagem do cotidiano no ensino de química. **Química Nova**, v. 38, p. 293-296, 2015.

SIVABALAN, V.; *et al.* Corrosion inhibition study on glycerol as simultaneous gas hydrate and corrosion inhibitor in gas pipelines. **Malaysian J Anal Sci**, v. 24, n. 1, p. 62-69, 2020.

SLOBODIAN, Z. V. *et al.* Corrosion Behavior of 20 Steel, Copper, Brass, and Aluminum in Inhibited Acid Solutions. **Materials Science**, v. 56, n. 5, p. 608–612, 1 mar. 2021.

SLOBODYAN, Z. V.; *et al.* Influence of technical glycerine and composition on his base on 20 steel and aluminium corrosion durability in 0, 1% NaCl. **Вісник Тернопільського національного технічного університету**, v. 95, n. 3, p. 19-25, 2019.

SOUZA, L.; *et al.* Ionic Liquids as Corrosion Inhibitors for Carbon Steel Protection in Hydrochloric Acid Solution: A First Review. **Journal of Materials Research and Technology**, 2022. ICZ. **Instituto de Metais Não Ferrosos**. Disponível em: <http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/apresentacoes/Bridges-Brazil-2013.pdf>. Acesso em: 05/01/2020 às 18:00.

TALHA, M.; *et al.* Improved corrosion protective performance of hybrid silane coatings reinforced with nano ZnO on 316 L stainless steel. **Colloid and Interface Science Communications**, v. 42, p. 100411, 2021.

VASZILCSIN, C. G.; *et al.* On the evaluation of metal-corrosion inhibitor interactions by adsorption isotherms. **Journal of Molecular Structure**, v. 1286, p. 135643, 2023.

VERMA, C. Chapter5 - Classification of corrosion inhibitors, **Handbook of Science & Engineering of Green Corrosion Inhibitors**, Elsevier, 2022, Pages 41-48, ISBN 9780323905893, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90589-3.00005-7>. 2022.

WANG, Q. *et al.* Experimental and theoretical investigations of 1, 1'-Dibenzyl-[4, 4'-bipyridine]- 1, 1'-dium chloride as effective corrosion inhibitor for Q235 steel in 1 M HCl. **Materials Today Communications**, v. 35, p. 106169, 2023.

WANG, X.; *et al.* Inhibition effect and adsorption behavior of two pyrimidine derivatives as corrosion inhibitors for Q235 steel in CO<sub>2</sub>-saturated chloride solution. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 903, p. 115827, 2021.

WCO - **World Corrosion Organization**. 2017. Disponível em: <http://corrosion.org/>. Acesso em: 06/06/2018 às 18:00.

WESTPHALEN, A. P. C; CORÇÃO, G.; BENETTI, A. D. Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, p. 425-436, 2016.


YU, Xiaoming; ZHANG, Meiling; CHEN, Hua. Revestimento anticorrosivo superhidrofóbico com efeito de proteção ativa: Inibidor de corrosão inorgânico/orgânico carregado com óxido de grafeno para ligas de magnésio. **Tecnologia de Superfícies e**

Revestimentos , p. 130586, 2024.

ZHANG, J. *et al.* Crude glycerol and glycerol as fuels and fuel additives in combustion applications *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 1 maio 2022.

ZUBAIDI, I. A.L.; *et al.* Crude glycerol as an innovative corrosion inhibitor. *Applied System Innovation*.

**ANEXO A - CERTIFICADO DE GARANTIA DA QUALIDADE DO AÇO UTILIZADO.**

 <b>TUBERFIL</b> <i>A Força da Qualidade!</i>		CNPJ: 59300962/0001-09 I.E.: 553.034.677-117 RUA GALILEU SILVEIRA BARROS, 190 DISTRITO INDUSTRIAL INDAIATUBA - SÃO PAULO - BRASIL CEP: 13347350 FONE: 55 19 38018855 FAX: 55 19 38018851 http: www.tuberfil.com.br E-mail: tuberfil@tuberfil.com.br				CLIENTE-CUSTOMER: AÇO SHOPPING COMERCIO LTDA RUA TERESA CRISTINA 1262 Fortaleza CE NOTA FISCAL - INVOICE:000159306 DATA - DATE: 19.08.2019 PAGINA - PAGE: 1																			
CERTIFICADO DE GARANTIA DE QUALIDADE QUALITY ASSURANCE CERTIFICATION REPORT						N° : 254777																			
ETIQUETA NÚMERO TAG NUMBER	IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO TUBO DE AÇO CARBONO COM COSTURA PRODUCT OF DESCRIPTION WELDED CARBON AND ALLOY STEEL TUBING	N.º BARRINA COIL NO.	ENSAIOS MECÂNICOS MECHANICAL TESTING							COMPOSIÇÃO QUÍMICA - CHEMICAL COMPOSITION ( % )															
			LE YTS MPa	UT TS MPa	A ELI	DUREZA HARDNESS HRB	EXPANSÃO DRIFT EXPANDING CURRENT TESTING	INDUSTRIAL THICKNESS	C	Mn	P	S	Si	Al	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Nb	V	W	B		
092671	TE5080310A6000RBRNBK.ASTM178GR.A	S18G902	380	325	35	71	OK	OK	0.10	0.42	0.008	0.01	0.001	0.050											
091794	TE5080310A6000RBRNBK.ASTM178GR.A	M17Q284	376	308	53	70	OK	OK	0.10	0.40	0.005	0.007	0.020	0.048											
091285	TE5080310A6000RBRNBK.ASTM178GR.A	S15A5201	301	370	18	75	OK	OK	0.10	0.38	0.003	0.002	0.000	0.035											
0907425	TE5080310A6000RBRNBK.ASTM178GR.A	S18A5157	312	308	54	71	OK	OK	0.10	0.29	0.025	0.011	0.000	0.040											
0909102	TE5080310A6000RBRNBK.ASTM178GR.A	S18A5128	295	308	46	69	OK	OK	0.09	0.46	0.006	0.009	0.020	0.041											
OBSERVAÇÕES - REMARKS: MATERIAL EM CONFORMIDADE COM A NORMA ASTM A178/A 178M 2012 GRAU A M GRAU A									CERTIFICAMOS PELO PRESENTE QUE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS MATERIAS PRIMAS RELACIONADAS ENCONTRAM-SE EM CONFORME CERTIFICADO DE ORIGEM DAS UNIDADES PRODUTORAS. WE HEREBY CERTIFY THAT THE CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE RAW MATERIALS ARE RELATED AS CERTIFICATE OF ORIGIN OF THE STEEL PLANTS.									CERTIFICADO EMITIDO ELETRÔNICAMENTE DEPARTAMENTO DE QUALIDADE QUALITY MANAGER							

## ANEXO B - CERTIFICADO DE COMITÊ DE ÉTICA PARA O USO DE ANIMAIS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ.

	<b>Comissão de Ética para o Uso de Animais</b> Av. Silas Munguba, 1700 - Itaperi CEP 60740-903 - fone 3101-9890 <a href="mailto:ceua.uece@uece.br">ceua.uece@uece.br</a> - <a href="http://www.uece.br/ceua">www.uece.br/ceua</a>	
<b>CERTIFICADO</b> Certificamos que o Projeto de Pesquisa intitulado "Uso do zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ) como método complementar para rastreio de novos compostos naturais de plantas" registrado sob o 200621/2020, tendo como pesquisador principal <b>Maria Izabel Florindo Guedes</b> , está de acordo com os Princípios Éticos de Experimentação Animal, adotados pelo <b>Comitê de Ética para o Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA - UECE)</b> . Este certificado expira-se em 31 de dezembro 2023.		
<b>CERTIFICATE</b> We hereby certify that the Project entitled "Uso do zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ) como método complementar para rastreio de novos compostos naturais de plantas" registered with the protocol 200621/2020 under the supervision of <b>Maria Izabel Florindo Guedes</b> is in agreement with Ethical Principles in Animal Experimentation, adopted by the Ethics Committee in Animal Experimentation of Ceará State University (CEUA - UECE). This certificate will expire on December 31 <sup>st</sup> , 2023.		
<b>RESUMO</b>		
Vigência do projeto	2020-2023	
Espécie/linhagem	Peixes Zebrafish	
Número de animais	3000 machos e 3000 fêmeas	
Peso/idade	0,5 ± 0,2 - 90 a 120 dias	
Sexo	Machos e fêmeas	
Origem	Biotério central da UFC - Biotério central da Unifor - Fornecedor comercial de Fortaleza	
Fortaleza, 24 de junho de 2020.		
		
<b>Maria Erivalda Farias de Araújo</b> Presidente CEUA-UECE		



**ANEXO C - CERTIFICADO DE GARANTIA DA QUALIDADE DO AÇO  
UTILIZADO.**



**Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de  
Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT**

**Número do Processo:** BR 10 2023 011720 1

**Dados do Depositante (71)**

---

**Depositante 1 de 1**

**Nome ou Razão Social:** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO CEARÁ

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 10744098000145

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Instituição de Ensino e Pesquisa

**Endereço:** Rua Jorge Dumar, 1703, Jardim America

**Cidade:** Fortaleza

**Estado:** CE

**CEP:** 60410-426

**País:** Brasil

**Telefone:** (85) 34012330

**Fax:**

**Email:** nit.ifce@ifce.edu.br

**Dados do Pedido**

---

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** COMPOSIÇÃO ANTICORROSIVA, MÉTODO DE USO E RECUPERAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA**Resumo:** A grande maioria das indústrias são acometidas por grandes prejuízos causados pela corrosão, devido a exposição de seus maquinários a ambientes agressivos, e a busca por materiais menos prejudiciais ao meio ambiente, fizeram surgir novas soluções anticorrosivas verdes ou ambientalmente corretas, e a presente invenção compreende uma solução contendo glicerina que vem se destacando ao longo dos anos como matéria-prima de baixo impacto ambiental e um composto do grupo parabeno ou uma mistura de compostos do grupo parabeno, até então não reportado na literatura com essa finalidade. O filtro de carvão ativado é usado para o tratamento do efluente e recuperação da matéria prima utilizada. A presente invenção mostrou-se altamente eficiente em comparação a um inibidor comercial de baixo impacto ambiental, frente a testes adotados em todo o mundo seguindo as normas da American Materials Testing Association, (ASTM G-31), de perda de massa e impedância eletroquímica. A solução anticorrosiva pode ser aplicada aos processos industriais que façam uso de caldeiras, trocadores de calor, torres de resfriamento, tanques de reservatórios de água feitos de aço carbono, poços de recuperação de petróleo e gás, em limpezas ácidas, básicas ou alcalinas, associada ao ácido clorídrico e decapagem química.**Figura a publicar:** 0