



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

SARA RIZIA NUNES BEZERRA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA CASCA DA LARANJA COMO INIBIDOR VERDE NO
COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE AÇO CARBONO**

PAU DOS FERROS

2022

SARA RIZIA NUNES BEZERRA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA CASCA DA LARANJA COMO INIBIDOR VERDE NO
COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE AÇO CARBONO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos.

PAU DOS FERROS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B574e Bezerra, Sara Rizia Nunes.
Estudo e avaliação da casca da laranja como
inibidor verde no combate à corrosão em estruturas
metálicas de aço carbono / Sara Rizia Nunes
Bezerra. - 2022.
63 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Corrosão. 2. Inibidores verdes de
corrosão. 3. Casca de laranja. 4. Aço carbono. I.
Ramos, Josy Eliziane Torres , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SARA RIZIA NUNES BEZERRA

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA CASCA DA LARANJA COMO INIBIDOR VERDE NO
COMBATE À CORROSÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE AÇO CARBONO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 07 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)
Orientadora

Prof^ª. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
1^a Avaliadora

Prof^ª. Dra. Aline Mara Maia Bessa (UFERSA)
2^a Avaliadora

Dedico este trabalho primeiramente a Deus sem ele nada disso seria possível, aos meus amados pais, Elizabete e Leomar, ao meu irmão Joaby e ao meu companheiro José Antônio.

Esta monografia é a prova de que todo o seu investimento e dedicação valem a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus todo poderoso, que me deu forças para enfrentar essa jornada com garra e persistência, que não me deixou abalar pelas pedras no caminho que serviram mais como um aprendizado. Obrigado por sempre cuidar de mim como uma filha.

Agradeço a minha mãe Elizabete Nunes Holanda que sempre me incentivou a lutar pelos meus sonhos acreditando na minha capacidade como mulher em vencer todos os obstáculos. Obrigada pelo carinho e compreensão nos momentos que mais precisei.

Agradeço também ao meu pai Leomar Holanda Bezerra pelo amor demonstrado e por ter me ajudado durante essa trajetória, saiba que tem um lugar especial guardado em meu coração.

Ao meu noivo José Antonio Eduardo de Holanda, pela compreensão, companheirismo, por me apoiar e estar ao meu lado durante todos os momentos.

Agradeço ao meu irmão Joaby Nunes Bezerra pelas conversas experientes no café da tarde, aos meus avós Nenê e Lúcia e a todos os familiares.

A minha orientadora Dra. Josy Eliziane Torres Ramos pelas contribuições e ensinamentos dados para a construção deste trabalho. Obrigada pela paciência, dedicação e disponibilidade.

A você, minha admiração pela mulher forte e excelente profissional que a Ufersa Campus Pau dos Ferros me deu a honra de conhecer.

Aos docentes da UFRSA, que mudaram a minha forma de pensar e enxergar o mundo, que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e crescimento pessoal.

A todos os colegas que fizeram parte da minha trajetória.

O senhor é o meu pastor, nada me faltará.
Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas. Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome.

Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.

Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias.

RESUMO

Os inibidores naturais são substâncias obtidas a partir de extratos vegetais ou de rejeitos biodegradáveis, sendo formados por moléculas oxidantes capazes de reduzir os processos corrosivos. Devido a esses fatores, pesquisas vêm sendo realizadas nos últimos anos com o intuito de verificar a eficácia desses extratos ecologicamente adequados como uma alternativa viável na minimização dos impactos ambientais e econômicos que os inibidores sintéticos vêm causando devido a sua alta toxicidade e altos custos. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a taxa de corrosão e eficiência do extrato vegetal obtido a partir da casca de laranja pêra como inibidor de corrosão do aço carbono em meio ácido, neutro e alcalino. Esses estudos foram feitos pelo método eletroquímico gravimétrico no qual foram utilizados pregos de aço carbono como corpos de prova (4,19 x 76,2 mm). Os meios corrosivos testados foram o ácido acético 4%, o cloreto de sódio 12% na presença de água e o hipoclorito de sódio 2%, todos com e sem a adição do extrato de laranja (concentração de 1M). Para obtenção dos dados, os pregos foram imersos nas soluções em um período de 31 dias, sendo analisados a cada dois dias para a leitura de suas respectivas massas, bem como a avaliação das alterações visuais mediante registro fotográfico durante cada medição. Foi verificado que as soluções na presença do extrato inibidor apresentaram reduções mais significativas na taxa de corrosão decorrente da formação de uma camada protetora sobre as superfícies dos pregos que foi responsável por inibir a reação oxidante e atenuar diretamente as perdas de massa. Em suma, esses efeitos nos permitiram classificar o extrato da casca de laranja como um mecanismo efetivo na inibição da corrosão em estruturas de aço carbono em soluções neutras, básicas e sobretudo em soluções ácidas, sendo um extrato que mediante estudos e técnicas mais avançados pode se tornar um inibidor promissor na área de corrosão.

Palavras-chave: Corrosão. Inibidores verdes de corrosão. Casca de laranja. Aço carbono.

ABSTRACT

Natural inhibitors are substances obtained from plant extracts or biodegradable waste, and are formed by oxidant molecules capable of reducing corrosive processes. Due to these factors, researches have been conducted in recent years aiming to verify the effectiveness of these ecologically suitable extracts as a viable alternative in minimizing the environmental and economic impacts that synthetic inhibitors have been causing due to their high toxicity and high costs. The present work aimed to evaluate the corrosion rate and efficiency of the vegetal extract obtained from the pear orange peel as a corrosion inhibitor of carbon steel in acid, neutral and alkaline media. These studies were carried out by the gravimetric electrochemical method in which carbon steel nails were used as specimens (4.19 x 76.2 mm). The corrosive media tested were 4% acetic acid, 12% sodium chloride in the presence of water, and 2% sodium hypochlorite, all with and without the addition of orange extract (1M concentration). To obtain the data, the nails were immersed in the solutions over a period of 31 days, being analyzed every two days to read their respective masses, as well as to evaluate the visual changes by means of a photographic record during each measurement. It was found that the solutions in the presence of the inhibitor extract presented more significant reductions in the corrosion rate due to the formation of a protective layer on the nail surfaces that was responsible for inhibiting the oxidizing reaction and directly attenuating the mass losses. In summary, these effects allowed us to classify the orange peel extract as an effective mechanism for inhibiting corrosion on carbon steel structures in neutral, basic, and especially acidic solutions.

Keywords: Corrosion. Green corrosion inhibitors. Orange skin. Carbon steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do Zn(s) e Cu ²⁺ em nível atômico	23
Figura 2 - Corrosão uniforme	24
Figura 3 - Corrosão por placas	25
Figura 4 - Corrosão alveolar	25
Figura 5 - Corrosão por pite	26
Figura 6 - Corrosão intergranular	26
Figura 7 - Corrosão por esfoliação	27
Figura 8 - Empolamento por hidrogênio	27
Figura 9 - Corrosão do ferro em contato com a água	32
Figura 10 - Classificação dos meios de acordo com o pH	33
Figura 11 - Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro	33
Figura 12 - Diagrama de Pourbaix simplificado para o sistema Fe-H ₂ O	34
Figura 13 - Estrutura química dos principais flavonóides.....	36
Figura 14 - <i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck.....	38
Figura 15 - Corte equatorial da laranja.....	38
Figura 16 - Representação estrutural da Hesperidina e Naringina	39
Figura 17 - Etapas metodológicas	40
Figura 18 - Higienização da laranja e exposição ao sol	40
Figura 19 - Medida em gramas das cascas das laranjas	41
Figura 20 - Estufa com circulação e renovação de ar SL - 102.....	41
Figura 21 - Aquecimento da água destilada	42
Figura 22 - Obtenção do extrato da laranja	42
Figura 23 - Balança utilizada para a realização das medidas experimentais.....	44
Figura 24 - Disposição das amostras de aço carbono.....	44
Figura 25 - Solução e corpo de prova em meio ácido sem inibidor	48
Figura 26 - Solução e corpo de prova em meio ácido com inibidor.....	48
Figura 27 - Solução e corpo de prova em meio neutro sem inibidor	51
Figura 28 - Solução e corpo de prova em meio neutro com inibidor	51
Figura 29 - Camada protetora formada no meio NE	53
Figura 30 - Prego em meio básico em um dia de imersão.....	53
Figura 31 - Solução e corpo de prova em meio básico sem inibidor	54
Figura 32 - Solução e corpo de prova em meio neutro com inibidor	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Perda de massa em função do tempo nas soluções A e AE	50
Gráfico 2 - Perda de massa em função do tempo nas soluções N e NE	52
Gráfico 3 - Perda de massa em função do tempo nas soluções B e BE.....	55
Gráfico 4 - Perdas de massa em função do tempo das amostras	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do aço em relação ao teor de Carbono	28
Tabela 2 - Dados para preparação de soluções	43
Tabela 3 - Classificação da taxa de corrosão	46
Tabela 4 - Resultados gerais da TC e eficiência (%) do inibidor	47
Tabela 5 - Dados obtidos nos meios A e AE	49
Tabela 6 - Dados obtidos nos meios N e NE	52
Tabela 7 - Dados obtidos nos meios B e BE	55
Tabela 8 - Valores das massas dos pregos em g	63
Tabela 9 - Potenciais padrão de redução a 25°C	64

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Semi-reação de oxidação do $\text{Zn}_{(s)}$	23
Equação 2 - Semi-reação de redução do $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	23
Equação 3 - Reação global entre o $\text{Zn}_{(s)}$ e o $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	23
Equação 4 - Fórmula utilizada para calcular o potencial padrão de célula	24
Equação 5 - Semi-reação de oxidação do $\text{Fe}_{(s)}$	29
Equação 6 - Semi-reação de redução do $\text{H}^{+}_{(aq)}$ na ausência de $\text{O}_{2(g)}$	29
Equação 7 - Semi-reação de redução de $\text{H}^{+}_{(aq)}$ na presença de $\text{O}_{2(g)}$	29
Equação 8 - Formação do óxido de ferro (III) hidratado em meio ácido	30
Equação 9 - Reação catódica de $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ na ausência de $\text{O}_{2(g)}$	30
Equação 10 - Reação catódica de $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ na presença de $\text{O}_{2(g)}$	30
Equação 11 - Semi-reação de redução de $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	31
Equação 12 - Semi-reação de oxidação do $\text{Fe}_{(s)}$	31
Equação 13 - Formação do hidróxido de ferro	31
Equação 14 - Formação do óxido de ferro (III) hidratado em meio neutro e alcalino	31
Equação 15 - Fórmula para calcular o pH	32
Equação 16 - Fórmula para calcular a taxa de corrosão (T_c)	45
Equação 17 - Fórmula para calcular a eficiência em % de um inibidor.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARBL	Aço de Alta Resistência Baixa Liga
A	Meio ácido sem extrato
AE	Meio ácido com extrato
BMS	Brazil Mining Solutions
B	Meio básico sem extrato
BE	Meio básico com extrato
EUA	Estados Unidos da América
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
IZA	International Zinc Association
LQA	Laboratório de Química Aplicada
NACE	National Association of Corrosion Engineers
NBR NM 87	Norma Brasileira Número 87
NOX	Número de oxidação
N	Meio neutro sem extrato
NE	Meio neutro com extrato
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico
S.A	Sociedade Anônima
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

CH_3OOH	Ácido acético
H_2O	Água
g.L^{-1}	Concentração
Cu	Cobre
NaCl	Cloreto de sódio
SO_2	Dióxido de enxofre
Fe	Ferro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
g	Gramas
$\text{O}_{2(\text{g})}$	Gás oxigênio
h	Horas
OH^-	Hidroxila
NaOH	Hidróxido de sódio
H_2	Hidrogênio
NaClO	Hipoclorito de sódio
H^+	Hídron
H_3O^+	Hidrônio
L	Litros
log	Logaritmo decimal
mm	Milímetros
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Óxido de ferro (III) hidratado
Fe_2O_3	Óxido de ferro (III)
O_2	Oxigênio
SO_3	Óxido sulfúrico
%	Porcentagem
E_{cel}°	Potencial padrão de célula
E_{red}°	Potencial padrão de redução
Fe- H_2O	Sistema contendo ferro em contato com a água
Tc	Taxa de corrosão
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	PROBLEMATIZAÇÃO	19
4	JUSTIFICATIVA.....	20
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
5.1	CORROSÃO	21
5.1.1	Corrosão eletroquímica	22
5.1.2	Formas de corrosão	24
5.2	AÇO CARBONO	28
5.2.1	Corrosão do aço em meio ácido	29
5.2.2	Corrosão do aço em meio neutro e básico.....	30
5.3	INFLUÊNCIA DO pH NA CORROSÃO	32
5.4	DIAGRAMA DE POURBAIX	34
5.5	INIBIDORES VERDES DE CORROSÃO	35
5.6	CASCA DA LARANJA.....	37
6	METODOLOGIA.....	40
6.1	OBTENÇÃO DO EXTRATO	40
6.2	PREPARO DAS SOLUÇÕES	43
6.3	ENSAIO DE IMERSÃO COM MEDIDA DE PERDA DE MASSA	43
6.4	CÁLCULO DA TAXA DE CORROSÃO E EFICIÊNCIA.....	45
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
7.1	MEIO ÁCIDO	47
7.2	MEIO NEUTRO.....	50
7.3	MEIO BÁSICO	53
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – MEDIDAS DAS MASSAS OBTIDAS	63
	ANEXO A – TABELA DE POTENCIAIS PADRÃO DE REDUÇÃO	64

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo natural de deterioração parcial ou total dos materiais, podendo acontecer de forma química ou eletroquímica, de maneira espontânea. Quando metais, como o ferro, são retirados das minas por mineradoras e transformados em produtos para o uso pela sociedade, se inicia imediatamente o processo de corrosão, que pode ocorrer de maneira lenta ou rápida a depender da finalidade que é dada ao produto, do meio ao qual ele está inserido e dos cuidados preventivamente adotados. Em meios muito agressivos, a corrosão tende a ocorrer de maneira muito mais acentuada, sendo favorável termodinamicamente em temperatura ambiente e na presença de oxigênio (GENTIL, 2017).

O fenômeno da corrosão gera diversas consequências ao material, dentre os quais, podemos citar o desgaste físico, as variações químicas, as modificações estruturais, a redução da resistência mecânica, podendo chegar em último caso a inadequação parcial ou total ao uso, gerando dessa forma, perdas diretas e indiretas (LATTMANN; ALVES, 2020).

Para Finamore (2016):

“Encontrar soluções técnicas, econômicas e ambientais viáveis para mitigação dos processos corrosivos é um desafio diário de engenheiros e técnicos. Um dos principais gargalos científicos é desenvolver melhores formas de monitorar e controlar a corrosão e, portanto, minimizar o uso de recursos naturais escassos e que não agredem o meio ambiente”.

O ferro é um dos materiais que possui maior aplicação nas indústrias de construção civil devido ao seu baixo custo e alta disponibilidade na natureza. Essas estruturas são expostas a diversos meios capazes de gerar pilhas de corrosão, entretanto, a liga metálica possui vida útil limitada devido a sua baixa resistência à corrosão (COSTA, 2017).

Segundo dados de levantamento divulgados pela Nexa Resources em 2020, cerca de 30% de toda a produção mundial de aço e ferro é perdida por conta da corrosão, os custos dessas perdas chegam a corresponder de 1% a 5% do PIB (Produto Interno Bruto) dos países. Para se ter noção da magnitude desse problema, em 2019 o Brasil teve um gasto de 290 bilhões de reais para manutenção da corrosão, o que equivale a 4% do PIB brasileiro (BMS, 2020).

O estudo da corrosão é fundamental na análise dos fatores que causam a deterioração dos materiais, os meios que influenciam a velocidade de corrosão e as medidas de prevenção contra o avanço da mesma em todo o material. Caso contrário, quando o processo de oxidação não é inibido de alguma forma, ele pode ser extremamente destrutivo.

Devido a sua alta ocorrência nos metais, a corrosão se apresenta de diversas formas, possuindo cada objeto corroído uma morfologia característica, as formas mais comuns são: corrosão uniforme, corrosão por placas, alveolar, por pites, intergranular e intragranular (CALLISTER, 2021). Diante disso, com a identificação e delimitação do problema é possível utilizar métodos para prevenir e desacelerar o processo corrosivo, tendo cada processo, uma forma e aplicação de cuidados a depender da situação e do meio ao qual o material está inserido.

Para minimizar os custos gerados pela corrosão, existem nas indústrias químicas variadas substâncias e misturas que quando se apresentam em concentrações adequadas no meio corrosivo, reduzem ou eliminam a corrosão. Esses produtos são chamados de “inibidores de corrosão” e podem ser classificados quanto a sua composição (orgânicos e inorgânicos), ou quanto a seu comportamento (catódicos, anódicos e de adsorção) (ALMEIDA, 2012).

Segundo Neto (2017), os resíduos descartados pelas indústrias vêm sendo objeto de estudo para inibir os processos corrosivos. Essas pesquisas partem da premissa de que esses rejeitos são ricos em compostos fenólicos, polifenóis e polissacarídeos capazes de intervir na corrosão formando uma película protetora sob a superfície do metal. Podemos citar diversas pesquisas que foram realizadas utilizando a abordagem do extrato como inibidor orgânico para o aço-carbono em meio aquoso: casca de laranja, maracujá, manga e caju (ROCHA *et al.*, 2013), casca de abacaxi, manga, limão e laranja (BATISTA, 2021), *Ixora coccinea* (ALMEIDA, 2012), borra de café e erva-mate (QUADROS, 2019) e menta (GROSSER, 2015).

Trazendo para um contexto mais presente em nosso dia a dia, a pesquisa teve, por finalidade, entender e explicar os processos corrosivos que ocorrem no aço carbono exposto a condições específicas como o contato em meio básico, neutro e ácido, o que acaba por favorecer determinado tipo de oxidação ou ferrugem como é conhecida popularmente. Em específico foi estudado um inibidor orgânico extraído a partir da casca de uma fruta natural muito consumida nas residências de toda a sociedade, a laranja. Os flavonóides presentes na casca de laranja são ricos em compostos favoráveis a inibição da oxidação, sendo um composto totalmente natural e não tóxico ao meio ambiente, resíduo que vem ganhando grande destaque nas pesquisas por ser altamente eficaz, sustentável e de baixo custo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um extrato vegetal quanto às suas capacidades de inibirem os processos de corrosão do aço carbono, compostos que vem se destacando nos estudos técnicos como alternativa viável na diminuição e prevenção dos produtos gerados pela corrosão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter o extrato inibidor a partir da casca de laranja;
- Analisar o comportamento do extrato obtido a partir da casca de laranja;
- Investigar o efeito do inibidor verde no aço-carbono em meio básico, neutro e ácido;
- Avaliar os processos e causas da corrosão nos três meios, identificando de forma macroscópica, a forma característica de corrosão que se apresenta na superfície do objeto estudado;
- Determinar a taxa de corrosão, a partir dos ensaios de perda de massa, nos meios aquosos contendo CH_3COOH 4%, NaCl 12% e NaClO 2%, na presença e ausência do extrato;
- Calcular a eficiência de inibição do extrato da laranja;
- Quantificar a eficiência do inibidor orgânico e discutir a importância da química verde para a preservação do meio ambiente;
- Apresentar o crescente potencial dos extratos naturais como inibidores verdes contra a corrosão de estruturas metálicas, em especial nos materiais constituídos de aço carbono.

3 PROBLEMATIZAÇÃO

Os problemas que são gerados devido à corrosão são comuns e ocorrem nas mais variadas atividades, com ênfase nos metais usados na indústria petroquímica, química, petrolífera, naval, automobilística e na construção civil (GENTIL, 2017).

Com o crescente uso dos materiais e avanço da tecnologia, os custos com a corrosão se elevam, causando prejuízos que resultam em investimentos para a prevenção e manutenção do objeto, já que os cuidados com esse fenômeno é de fundamental importância para se evitar a ruptura e o desgaste progressivo da estrutura, gerando como consequência desses gastos um grande interesse mundial (SERRA, 2014).

Com o avanço tecnológico mundialmente alcançado, os custos da corrosão evidentemente se elevam, tornando-se um fator de grande importância a ser considerado já na fase de projeto de grandes instalações industriais para evitar ou minimizar futuros processos corrosivos (GENTIL, 2017, p. 4).

As perdas econômicas são classificadas em perdas diretas, que leva em consideração os custos de substituição e manutenção das peças ou equipamentos e perdas indiretas, dentre os quais se destacam as paralisações que são geradas para a limpeza e/ou substituição do objeto, as perdas e contaminações de produtos, a diminuição da eficiência do objeto e o superdimensionamento dos projetos (ZORTÉA, 2020).

Uma problemática que vem sendo discutida pelas organizações mundiais é a escassez progressiva das reservas naturais de minério, tendo em vista que a corrosão causada nos metais gera a necessidade de uma produção adicional de matéria-prima para repor o que foi deteriorado. Segundo a International Zinc Association (IZA), com o apoio da USP, em um estudo realizado em 2015, revelou que o Brasil gasta o equivalente a 200 bilhões de reais com as trocas de materiais e manutenções causadas pela corrosão, já que o Brasil possui um clima tropical favorável para ocorrência dessa reação eletroquímica (FIEP, 2019).

Além disso, existe a preocupação ambiental dos efeitos que os inibidores sintéticos podem causar ao meio ambiente, pois, apesar de serem muito eficientes são substâncias que podem gerar toxicidade ao meio, mesmo em pequenas quantidades, fazendo com que haja uma crescente procura no mercado por inibidores ambientalmente apropriados (GROSSER, 2015). Levando em consideração essa problemática, é de fundamental importância estudar diferentes formas de combater a corrosão, sem causar tantos prejuízos à sociedade, fator que vem alavancando as pesquisas científicas referentes aos inibidores verdes ou ecológicos, obtidos a partir de extratos vegetais ou fontes de biomassa.

4 JUSTIFICATIVA

Os extratos de plantas são de extrema relevância como agentes inibidores por quatro motivos: seguem o ponto de vista ecológico sendo bastante aceitáveis, possuem alta eficiência de inibição, são substâncias com baixo investimento de recursos e são renováveis para uma variada quantidade de inibidores (QUADROS, 2019).

Segundo Behpour *et al.* (2012), os bioinibidores de corrosão não contém metais pesados ou algum componente tóxico em sua composição e são biodegradáveis. A literatura evidencia pesquisas que demonstram o uso bem-sucedido de substâncias produzidas a partir de extratos de plantas que inibem a corrosão em meios alcalinos e ácidos (BATISTA, 2021).

De acordo com Rocha (2013) a baixa agressividade dos bioinibidores e a alta eficiência no processo de oxidação do material podem ser explicados, devido ao fato da sua origem ser extraída a partir de folhas, raízes, frutos e galhos, abrangendo uma combinação de compostos orgânicos complexos com grande destaque nos estudos de combate a corrosão, dentre eles temos o oxigênio, nitrogênio, enxofre, as bases nitrogenadas, proteínas, carboidratos, taninos e alcaloides.

A comunidade ecológica e os protocolos ambientais mais rigorosos no ano de 2017 aconselharam a não utilização de inibidores sintéticos, ressaltando dessa forma, a relevância dos inibidores verdes para o combate da corrosão (SEMA, 2018).

Quando levamos em consideração os estudos realizados na comparação da eficiência dos inibidores verdes com os inibidores sintéticos ambos desempenham a mesma função de reduzir e prevenir os produtos gerados durante a corrosão, entretanto, quando se tem uma visão ambiental sobre os protocolos e metas divulgadas pela ONU e assinadas pelo Brasil, como a agenda 21 que objetiva colocar em prática durante esse século o desenvolvimento sustentável, os bioinibidores se tornam um meio de fundamental importância para colocar em prática as medidas ambientais propostas (CNUMAD, 1991).

Nesse contexto, o trabalho aprofundou as ideias existentes em muitos estudos na literatura, no qual foram feitos testes experimentais para se observar o comportamento e eficácia do extrato da laranja na inibição da corrosão no aço carbono, com o intuito de incentivar a valorização dos produtos naturais que não geram danos ao meio ambiente.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 CORROSÃO

A corrosão é um processo de deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Os desgastes provenientes da interação físico-química e o seu meio operacional representam alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como variações químicas, modificações estruturais e desgastes, tornando-os inadequado para o uso (GENTIL, 2017).

No caso específico dos metais, ao entrar em contato com o meio ambiente, onde existe a presença do gás oxigênio, água ou algum tipo de umidade, esses materiais sofrem um processo de oxidação dando origem a formação de um produto conhecido popularmente como ferrugem, reação que pode se intensificar de acordo com o aumento da temperatura, umidade existente no local, alterações de pressão, esforços mecânicos e agentes poluidores no meio como, por exemplo, SO_2 e SO_3 (BROWN, 2005).

A corrosão é definida como o inverso do processo siderúrgico, pois os produtos gerados pela oxidação de alguns metais são semelhantes aos minérios que lhes deram origem, ou seja, o metal tende a retornar a sua condição de estabilidade que é aquela mais comumente encontrada na natureza. A hematita (Fe_2O_3), por exemplo, é o minério de onde o ferro é extraído que posteriormente origina um objeto metálico e que com o decorrer do tempo e das condições, o mesmo passa a sofrer corrosão, produzindo a ferrugem (Fe_2O_3), substância similar ao minério que lhe deu origem, no caso a hematita (GENTIL, 2017).

De acordo com Finamore (2016), a corrosão pode ser dividida em química ou eletroquímica, sendo esta última mais abrangente na maior parte dos fenômenos corrosivos. A corrosão eletroquímica, característica do meio aquoso, é aquela em que ocorrem transferências de elétrons entre os átomos envolvidos, onde um dos reagentes doa elétrons e sofre uma oxidação e a outra parte que recebe os elétrons sofre uma redução, situação que será descrita mais detalhadamente (BERTOLINI, 2010).

Os desgastes provocados pela corrosão geram perdas econômicas significativas. Nos EUA um dos países mais industrializados do mundo a corrosão causa prejuízos financeiros da ordem de 300 bilhões de dólares anuais, representando nesses países aproximadamente 3,5% do seu PIB (RIEDER *et al.*, 2009). Diante desses fatos o estudo da corrosão, detecção, monitoramento e controle são fatores fundamentais a serem levados em consideração, com a finalidade de aumentar a vida útil e eficiência dos equipamentos, garantir a segurança no

processo industrial, evitando paralisações acidentais e a contaminação de produtos (NETO, 2017).

5.1.1 Corrosão eletroquímica

O mecanismo de corrosão eletroquímica ocorre com frequência em água ou em soluções aquosas. Quando temos um meio aquoso composto de íons, por exemplo, o NaCl (sal de cozinha) dissolvido em água, os íons Na^+ e Cl^- fazem com que haja um transporte de carga elétrica de um eletrodo para outro, tornando a água um bom condutor de eletricidade. Diante disso, uma substância cujas soluções aquosas contêm íons é chamada de eletrólito. Dentro do grupo dos eletrólitos temos os eletrólitos fortes que são solutos que estão presentes no meio na forma de íons em quase toda sua totalidade e os eletrólitos fracos que estão presentes na solução em forma de moléculas e em pequena quantidade de íons (BROWN, 2005).

As reações de oxirredução ou *redox* ocorrem devido à presença de um eletrodo positivo ou negativo, normalmente metálico, em uma solução eletrolítica, no qual ocorre a transferência de elétrons de um reagente para outro (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

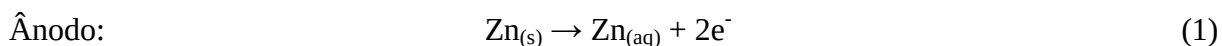
Segundo Callister (2021), a corrosão eletroquímica pode ser dividida em três fases:

- a) Processo anódico: passagem de íons para a solução. Nesse processo o reagente perde elétrons para as espécies químicas da solução, aumentando o seu nox devido à formação de íons positivos. Esse tipo de semi-reação é conhecida como oxidação, onde a espécie química oxidada recebe o nome de agente redutor já que ele está perdendo elétrons e ocorre nos locais onde existe o eletrodo anódico ou ânodo.
- b) Deslocamento dos elétrons e íons: a transferência de elétrons ocorre no sentido oposto ao da corrente, ou seja, das regiões anódicas para as catódicas.
- c) Processo catódico: se existe uma espécie química que está oxidando, na outra parte existe uma substância que está sofrendo redução, ou seja, os cátions da solução próximos à superfície do metal recebem os elétrons da região anódica. Essa semi-reação é conhecida como redução, sendo a espécie química reduzida chamada de agente oxidante e ocorre no eletrodo catódico ou no cátodo.

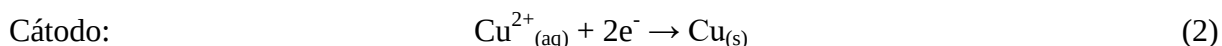
Como forma de exemplificar os conceitos mencionados acima, podemos levar em consideração a reação espontânea que ocorre quando uma tira de zinco é colocada em contato

com uma solução contendo $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ onde o $\text{Zn}_{(\text{s})}$ é oxidado a $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ e o $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ é reduzido a $\text{Cu}_{(\text{s})}$, conforme está descrito nas Equações (1), (2) e (3) (BROWN, 2005).

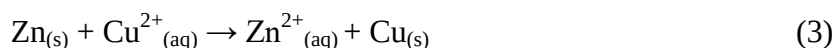
Equação 1 - Semi-reação de oxidação do $\text{Zn}_{(\text{s})}$:



Equação 2 - Semi-reação de redução do $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$:

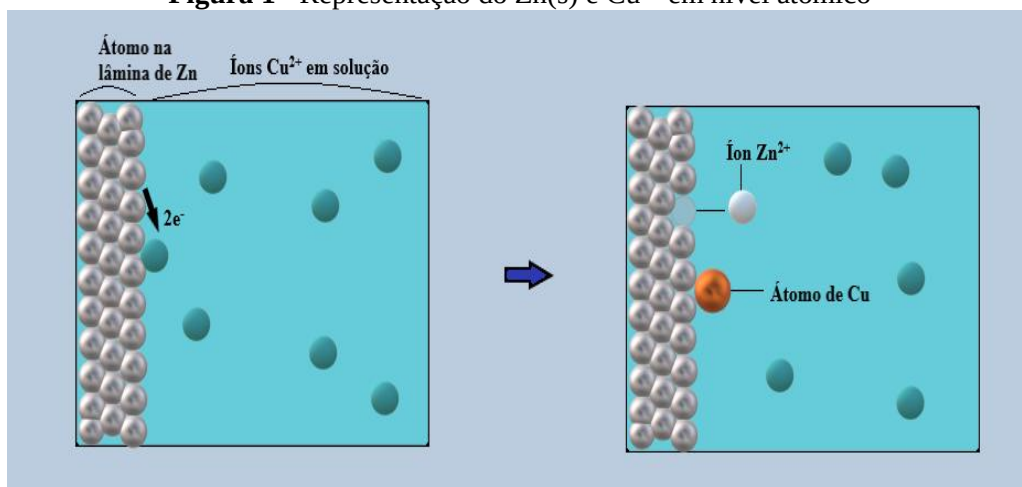


Equação 3 - Reação global entre o $\text{Zn}_{(\text{s})}$ e o $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$:



A Figura 1 apresenta, em nível atômico, os processos que ocorrem nessa reação. Como pode ser visto, quando uma lâmina de zinco que contém átomos de $\text{Zn}_{(\text{s})}$ é colocada em contato com uma solução de sulfato de cobre (II), um íon de $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ da solução entra em contato com a lâmina do metal ganhando dois elétrons de um átomo de $\text{Zn}_{(\text{s})}$ reduzindo e se depositando na forma de $\text{Cu}_{(\text{s})}$ na superfície da lâmina, enquanto que o $\text{Zn}_{(\text{s})}$ devido a perda de elétrons é oxidado, indo para um estado de oxidação mais positivo resultando na formação de $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ (BROWN, 2005).

Figura 1 - Representação do $\text{Zn}_{(\text{s})}$ e Cu^{2+} em nível atômico



Fonte: AUTOR (2022)

Todas as espécies químicas sólidas ou líquidas estão sujeitas a uma maior capacidade de reduzir ou oxidar e a essa propensão damos o nome de potencial. O potencial da célula (E°_{cel}) é a diferença entre o potencial de redução do catodo (E°_{red}) com o potencial de redução do anodo (E°_{red}), como pode ser visto na Equação (4). Os potenciais-padrões de redução são utilizados devido ao parâmetro universal em descrever meias reações como processo de redução e são medidos em relação ao chamado eletrodo padrão de hidrogênio (EPH), conforme está descrito no ANEXO A (CHANG; GOLDSBY, 2013).

Equação 4 - Fórmula utilizada para calcular o potencial padrão de célula:

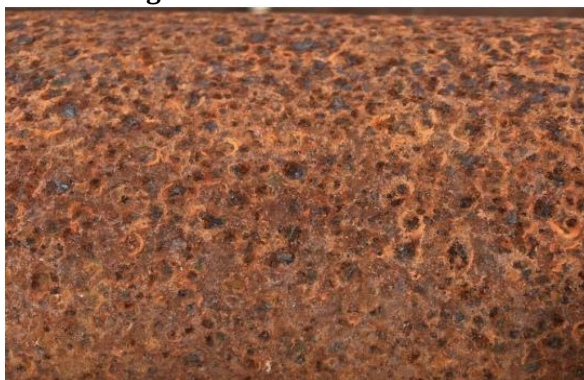
$$E^{\circ}_{\text{cel}} = E^{\circ}_{\text{red}}(\text{catodo}) - E^{\circ}_{\text{red}}(\text{anodo}) \quad (4)$$

5.1.2 Formas de corrosão

A corrosão manifesta-se nos objetos sob diferentes formas ou tipos, podendo ser identificada de acordo com a morfologia e as diferentes causas e mecanismos que a fazem ocorrer. O conhecimento e caracterização de acordo com a morfologia auxiliam no esclarecimento das principais causas da corrosão e nas medidas mais adequadas de proteção a se tomar. Além da identificação morfológica da corrosão é importante avaliar as condições presentes no meio ao qual o objeto está inserido, avaliando a composição química do material, a presença de impurezas, o pH, a temperatura, o teor de oxigênio, e as condições operacionais (BATISTA, 2021). A seguir estão descritos os principais tipos de corrosão morfológica:

- a) **Corrosão uniforme:** a corrosão se manifesta em toda a superfície exposta do material, havendo uma perda uniforme da espessura externa. Esse tipo de corrosão é chamada também de corrosão generalizada (Figura 2):

Figura 2 - Corrosão uniforme



Fonte: SOUSA (2017)

- b) **Corrosão em placas:** é um tipo de corrosão localizada que recebe esse nome devido ao seu formato característico e ocorre com frequência apenas em algumas regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão com se verifica na corrosão uniforme, dando origem a escavações como mostra a Figura 3, decorrentes dos desprendimentos das placas geradas pelos produtos de corrosão.

Figura 3 - Corrosão por placas



Fonte: GENTIL (2017)

- c) **Corrosão alveolar:** a corrosão se apresenta na superfície metálica produzindo sulcos ou escavações similares a alvéolos. Como podemos ver na Figura 4 abaixo, os alvéolos apresentam fundo arredondado e um diâmetro maior que a profundidade.

Figura 4 - Corrosão alveolar

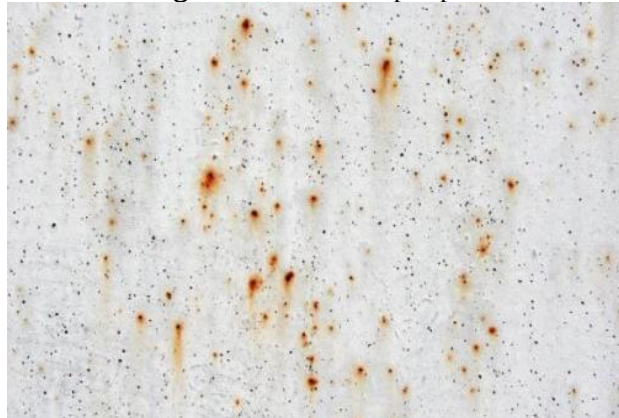


Fonte: SOUSA (2017)

- d) **Corrosão puntiforme ou por pite:** esse tipo de corrosão processa-se em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície do metal produzindo pites, cavidades que se apresentam em forma angulosa e que ao contrário da corrosão

alveolar possuem uma profundidade maior que o diâmetro como mostra a Figura 5, tornando-se uma forma de corrosão de difícil identificação por se localizar nas cavidades internas do material. Esse tipo de corrosão é acelerada pela presença de halogenetos.

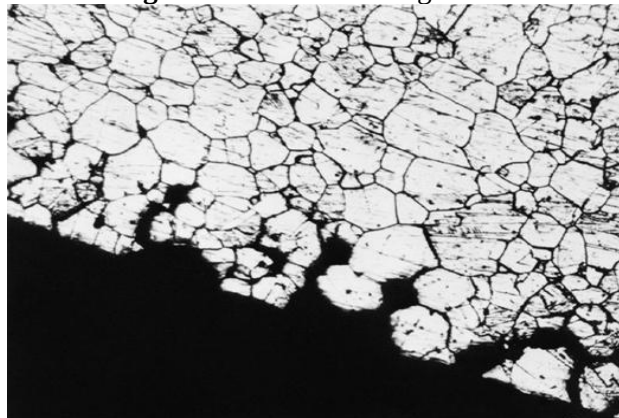
Figura 5 - Corrosão por pite



Fonte: ALVES (2020)

- e) **Corrosão intergranular:** na rede cristalina do metal, a corrosão ocorre uniformemente no contorno e no interior dos grãos, normalmente causada por impurezas, gerando a perda das propriedades mecânicas do metal (Figura 6):

Figura 6 - Corrosão intergranular



Fonte: GENTIL (2017)

- f) **Corrosão intragranular:** a corrosão se processa nos grãos da rede cristalina do material metálico, que ao perder suas propriedades mecânicas, poderá ser fraturado na menor solicitação mecânica.
- g) **Corrosão por esfoliação:** inicialmente a corrosão ocorre na extensão limpa do objeto, posteriormente acaba se expandido para baixo da superfície metálica e se

desintegrando na forma de placas paralelas à superfície. Podemos encontrar a corrosão por esfoliação frequentemente em chapas ou em materiais extrudados que sofreram alongamento e achatamento de seus grãos. A Figura 7 mostra uma chapa metálica que sofreu corrosão por esfoliação, onde se pode verificar a separação das camadas resultante da ação eletroquímica:

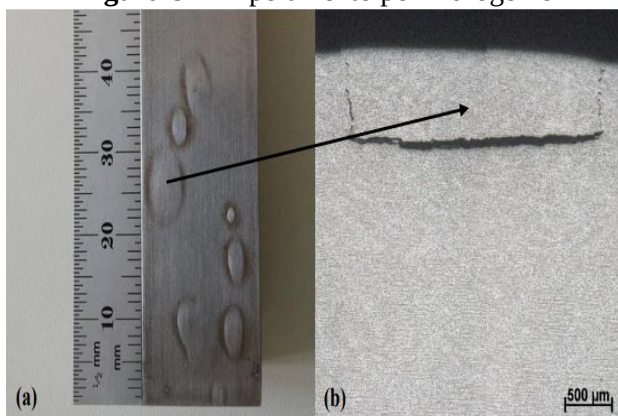
Figura 7 - Corrosão por esfoliação



Fonte: GENTIL (2017)

h) Empolamento pelo hidrogênio: nesse tipo de corrosão o hidrogênio presente no ar atmosférico penetra no interior do material e devido ao seu pequeno volume atômico, acaba rapidamente se difundindo. Em locais na superfície metálica que existem descontinuidades, como vazios, ele se transforma em hidrogênio molecular. O H_2 resultante desse processo exerce uma pressão, dando origem à formação de bolhas características que podem ser vistas a olho nu, conforme se observa na Figura 8:

Figura 8 - Empolamento por hidrogênio



Fonte: MACEDO (2020)

5.2 AÇO CARBONO

O aço é uma liga formada a partir do ferro e do carbono, contendo segundo a NBR NM 87 (ABNT, 2000) um percentual de 97% de ferro e um teor de 0,008% a 2,11% de carbono. Entretanto, esse material possui uma natureza complexa e sua definição não é uma das mais simples, fato que pode ser explicado devido ao alto desempenho do setor industrial em aperfeiçoar as matérias primas da natureza, deixando assim de ser simplesmente uma liga binária para se transformar em um Aço de Alta Resistência Baixa Liga (ARBL) (PAIVA, 2018).

As propriedades mecânicas do aço carbono são alteradas de acordo com a adição de carbono em sua composição, sendo classificado em três grandes grupos, conforme mostra a Tabela 1. A porcentagem de carbono é diretamente proporcional à dureza do produto, ou seja, os aços de alto carbono são os materiais que possuem maior dureza (GERDAU, 2019).

Tabela 1 - Classificação do aço em relação ao teor de Carbono	
Grupo	Teor de Carbono (%)
Aços de alto carbono	0,60%<C<2,11%
Aços de médio carbono	0,30%<C<0,59%
Aços de baixo carbono	0,05%<C<0,29%

Fonte: AUTOR (2022)

Um dos problemas do aço carbono é a baixa resistência à corrosão quando o material entra em contato com o meio aquoso. Um fenômeno eletroquímico em que a não uniformidade da superfície do material resulta no aparecimento de uma grande quantidade de pequenos pontos, com diferentes potenciais eletroquímicos (GROSSER, 2015).

O aço carbono tem suas maiores aplicações nos setores indústrias e na construção civil, havendo dessa forma, uma grande necessidade de se fazer estudos periódicos dos efeitos e causas que a corrosão gera nos produtos e máquinas que movimentam a economia em escala global (NETO *et al*, 2021). O estudo e prevenção da corrosão nesse tipo de material são necessários para se evitar os seguintes problemas: deterioração e contaminação de produtos havendo a redução do valor agregado à mercadoria, perda de propriedades como a condutividade elétrica, perda de resistência mecânica no metal, superdimensionamento de equipamentos, perda de eficiência no processo e risco à vida de funcionários. Diante de tantas

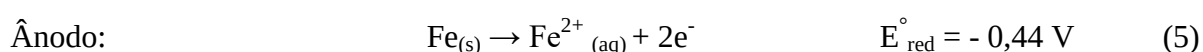
problemáticas, o investimento em estudos de análise e prevenção da corrosão no aço carbono se torna indispensável (GENTIL, 2017).

5.2.1 Corrosão do aço em meio ácido

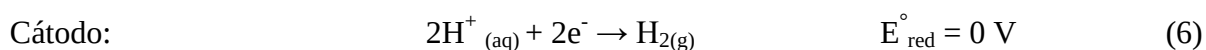
Para analisar as reações de corrosão que são geradas na superfície do aço carbono deve-se levar em consideração o componente químico de maior proporção em sua composição, onde o ferro é o seu principal constituinte (GERDAU, 2019). De acordo com Callister (2021) a oxidação do ferro é eletroquímica por natureza, sendo a água e o oxigênio os principais responsáveis pela formação da ferrugem. O processo de formação do óxido de ferro (III) hidratado envolve a oxidação, redução e condução de eletricidade no metal, havendo assim, a movimentação de elétrons de uma região anódica para uma catódica, como ocorre em células voltaicas (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

Quando o ferro é exposto a um ambiente úmido, na presença de água e oxigênio, ocorre uma reação redox espontânea, que tem como finalidade atacar o metal, que no nosso caso é o ferro (Fe) produzindo um novo composto (BROWN, 2005). Para analisar a corrosão do ferro em meio ácido, deve-se levar em consideração a presença e ausência do oxigênio, conforme está demonstrado nas Equações (6) e (7). Todas as semi-reações de redução foram retiradas da tabela de potenciais padrão de redução presentes no ANEXO A.

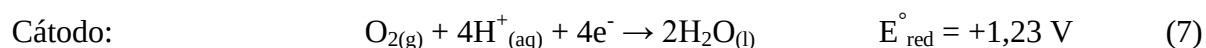
Equação 5 - Semi-reação de oxidação do $\text{Fe}_{(s)}$:



Equação 6 - Semi-reação de redução do $\text{H}^{+}_{(aq)}$ na ausência de $\text{O}_{2(g)}$:



Equação 7 - Semi-reação de redução de $\text{H}^{+}_{(aq)}$ na presença de $\text{O}_{2(g)}$:

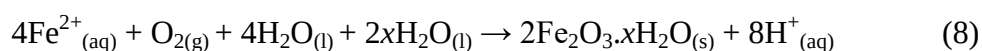


Para análise dos sistemas utilizou-se as Equações (5) e (7) já que na maioria dos casos as reações ocorrem na presença de oxigênio. De acordo com o potencial-padrão de redução, o $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$ tem um potencial menos positivo do que o $\text{O}_{2(g)}$, que apresenta um

potencial de redução mais positivo. Assim, na presença de oxigênio o ferro tende a ser oxidado.

Os elétrons produzidos na reação migram pelo metal para a outra parte da superfície onde está localizado o catodo, onde o $O_{2(g)}$ é reduzido. Quando o $O_{2(g)}$ reduz, este passa a necessitar do cátion hidrogênio (H^+), fazendo com que a diminuição da concentração do cátion hidrogênio torne a redução de O_2 menos favorável, dessa forma, o Fe^{2+} é mais oxidado, formando o Fe^{3+} , que em seguida forma o óxido de ferro (III) hidratado (Equação 8), mais usualmente conhecido como ferrugem (BROWN, 2005).

Equação 8 - Formação do óxido de ferro (III) hidratado em meio ácido:



A ferrugem formada se deposita normalmente na região catódica já que nessa área existe um maior suprimento de O_2 .

A reação catódica no meio ácido é bem característica e pode ser notada facilmente na superfície do metal, onde existe a formação de bolhas gasosas de hidrogênio resultantes do consumo de íons H^+ (ROCHA, 2008).

5.2.2 Corrosão do aço em meio neutro e básico

Como foi explicado anteriormente, deve-se ter como base as reações que ocorrem entre o ferro e o meio aquoso. Para analisar a corrosão do ferro em meio neutro e básico, utiliza-se as reações de redução na presença e ausência de oxigênio, conforme está demonstrado nas Equações (9) e (10).

Equação 9 - Reação catódica de $H_2O_{(l)}$ na ausência de $O_{2(g)}$:



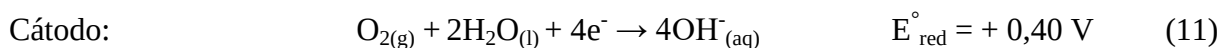
Equação 10 - Reação catódica de $H_2O_{(l)}$ na presença de $O_{2(g)}$:



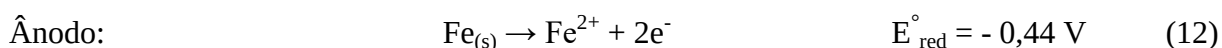
Para o presente estudo, foi utilizado a mesma reação como no meio ácido a semi-reação de redução na presença de oxigênio. Assim, quando o metal entra em contato com uma

solução aquosa, neutra ou básica, na presença de oxigênio, reage com as espécies químicas, elevando seu nox e sofrendo oxidação devido à perda de elétrons (CHANG; GOLDSBY, 2013). As Equações (11) e (12) logo a seguir mostram as reações parciais de redução que ocorrem no cátodo e ânodo.

Equação 11 - Semi-reação de redução de $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$:

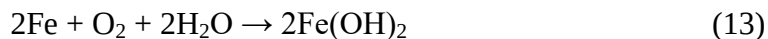


Equação 12 - Semi-reação de oxidação do $\text{Fe}_{(s)}$:



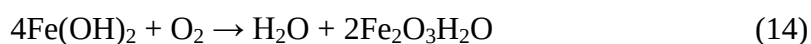
As reações (11) e (12) ocorrem simultaneamente na superfície do metal, fazendo com que os íons Fe^{2+} migrem em direção ao cátodo e os íons OH^- para o ânodo (ROCHA, 2013). Nessa fase intermediária ocorre a formação do hidróxido de ferro.

Equação 13 - Formação do hidróxido de ferro:

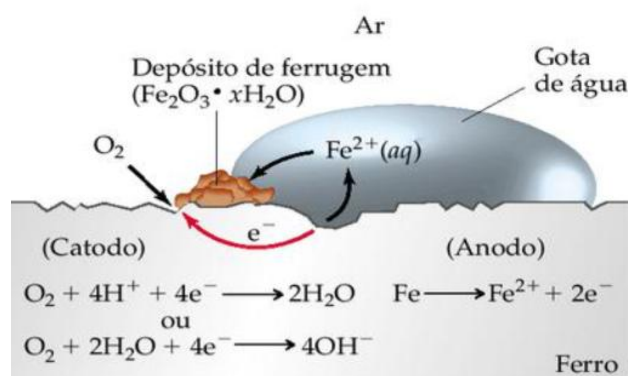


O oxigênio em excesso no meio reage com o hidróxido de ferro formado anteriormente, dando origem a produção de óxidos de ferro, conhecido popularmente como ferrugem (BROWN, 2005).

Equação 14 - Formação do óxido de ferro (III) hidratado em meio neutro e alcalino:



A Figura 9 apresenta um resumo das Equações (5), (7), e (11) em relação às reações catódicas em meio ácido, neutro e básico e da reação anódica do ferro para os três meios, bem como a formação dos depósitos de ferrugem na presença de O_2 .

Figura 9 - Corrosão do ferro em contato com a água

Fonte: BROWN (2005)

Diante das reações eletroquímicas descritas, é possível perceber que os íons metálicos necessitam de um meio oxidante para sofrer corrosão, normalmente a água e o oxigênio, sendo este último quando dissolvido na água um dos principais causadores do aumento da velocidade de reação e da geração dos depósitos de ferrugem. Para redução desses depósitos, os eletrodos do aço carbono devem ser protegidos para reduzir o contato com o ar atmosférico e atenuar a velocidade de corrosão.

5.3 INFLUÊNCIA DO pH NA CORROSÃO

Entender a influência do pH presente em um determinado ambiente auxilia no entendimento das causas e medidas a se tomar contra o fenômeno da corrosão. Segundo Atkins, Jones e Laverman (2018) o pH é a sigla utilizada para representar o potencial de hidrogênio, indicando a quantidade de íons H_3O^+ ou H^+ dissociados em uma dada solução. Há uma temperatura de 25°C a escala de pH varia de 0 a 14, entretanto, se a temperatura for modificada a faixa da escala também será.

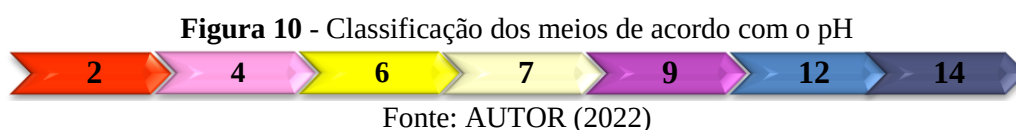
A concentração dos íons H^+ em solução é muito pequena e como forma de simplificar os cálculos na prática é feito o valor negativo do logaritmo na base 10 em relação à concentração do íon hidrogênio para determinação do pH, conforme mostra a Equação 15 (CHANG; GOLDSBY, 2013).

Equação 15 - Fórmula para calcular o pH:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (15)$$

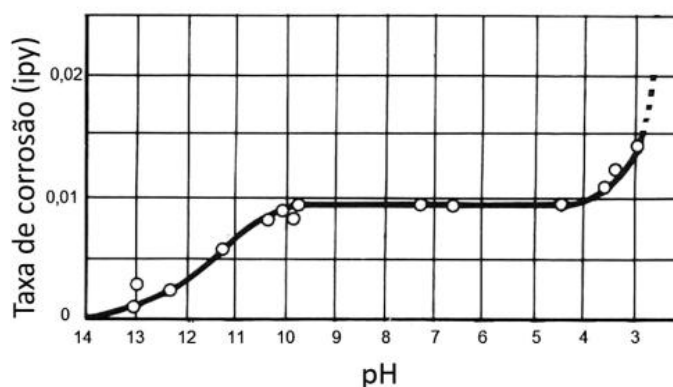
O sinal negativo na frente do logaritmo significa que quanto maior a concentração de íons H^+ menor será o potencial hidrogeniônico.

Quando mais perto de zero o pH for, maior será a acidez da solução. Já no valor intermediário de sete o ambiente é neutro e acima dessa faixa a substância é básica. O valor do pH da solução irá apresentar uma cor característica de acordo com a agressividade do meio, tendo os valores de pH abaixo de sete cores mais claras e em contrapartida o básico cores mais escuras (BATISTA, 2021). A Figura 10 ilustra as faixas de pH e suas cores características:



Quanto mais ácido for o meio maior será a concentração dos íons H^+ em relação aos íons OH^- , acelerando a velocidade de corrosão das estruturas metálicas e a formação de óxidos que, segundo Gentil (2017), pode ser verificado pela Figura 11:

Figura 11 - Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do ferro



Fonte: GENTIL (2017)

Pela Figura acima, verifica-se que em pHs abaixo de 4 tem-se um aumento da taxa de corrosão, elevando o estado de oxidação do ferro. Na faixa de pH entre 4 e 10 a taxa de corrosão depende somente da velocidade com que o oxigênio atmosférico interage com o material metálico imerso no meio aquoso. Para valores de pHs maiores que 10 tem-se uma diminuição da taxa de corrosão devido à alcalinidade do meio que faz com que o ferro entre na região de passividade. Como exemplo, tem-se as soluções concentradas de soda cáustica (NaOH) que são armazenadas em tanques de aço carbono e utilizados para minimizar a possibilidade de corrosão.

5.4 DIAGRAMA DE POURBAIX

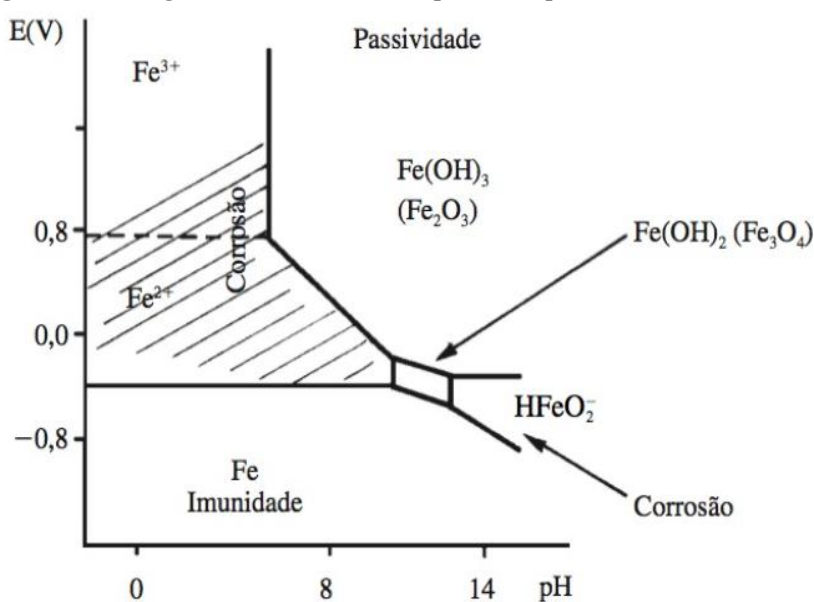
O diagrama de Pourbaix é um método gráfico que representa os equilíbrios termodinâmicos que podem existir entre o metal e o eletrólito líquido. Diante disso, o diagrama se torna uma ferramenta útil para relacionar a forma como o metal imerso irá se comportar de acordo com os valores do potencial (E_H) e do pH da solução, apresentando, assim, uma possibilidade de se prever as condições sob as quais se podem ter corrosão, imunidade ou possibilidade de passivação (RIBEIRO, 2020).

Segundo Gentil (2017), as reações podem depender diretamente do potencial de eletrodo padrão de hidrogênio e/ou do pH, tendo cada dependência uma representação específica no diagrama:

1. As reações que dependem somente do pH são caracterizadas por um conjunto de retas paralelas ao eixo das ordenadas;
2. As reações que dependem somente do potencial (E_H) são caracterizadas por um conjunto de retas paralelas ao eixo das abscissas;
3. As reações que dependem do potencial (E_H) e do pH são caracterizadas por um conjunto de retas inclinadas.

A Figura 12 mostra o diagrama simplificado de Pourbaix, sendo de fundamental importância no estudo da corrosão e proteção dos metais em meio aquoso.

Figura 12 - Diagrama de Pourbaix simplificado para o sistema Fe-H₂O



Fonte: GENTIL (2017)

Como o diagrama representa apenas as condições de equilíbrio, Pourbaix deixou bem claro que não pode ser utilizado para explicar todos os fenômenos químicos e eletroquímicos que ocorrem na interface metal-meio e não pode ser usado para prever as velocidades e reações de corrosão, sendo necessário realizar um estudo cinético das reações (GENTIL, 2017).

5.5 INIBIDORES VERDES DE CORROSÃO

Os inibidores de corrosão são compostos químicos que, ao serem adicionados em concentrações adequadas, reduzem e/ou retardam a velocidade das reações eletroquímicas que ocorrem entre o meio agressivo e o metal, mantendo a taxa de corrosão (T_c) em valores mínimos (ALMEIDA, 2012). Entretanto, não é qualquer tipo de composto que pode ser usado para inibir a corrosão. Deve ser analisado a estrutura química das moléculas, as ligações químicas, os grupos polares e o seu comportamento em determinado meio de acordo com a concentração, temperatura, velocidade das reações e presença de materiais orgânicos ou inorgânicos na solução, sendo no final de todo esse processo capaz de oxidar o metal e produzir uma camada protetora sobre o mesmo (ROCHA, 2013).

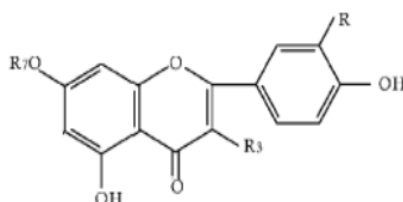
O inibidor pode ter a função somente de impedir ou diminuir a reação anódica, reagindo com o produto de corrosão formado inicialmente e dando origem ao surgimento de uma camada aderente e insolúvel sobre a superfície metálica, esse inibidor recebe o nome de inibidor anódico (GENTIL, 2017). Por outro lado, o inibidor catódico inibe o desenvolvimento de H_2 em soluções ácidas e a redução do O_2 em soluções neutras ou básicas.

Os inibidores de adsorção funcionam como películas protetoras tanto em regiões anódicas como em regiões catódicas, atuando diretamente na ação eletroquímica. Nesse grupo, estão incluídas substâncias orgânicas fortemente polares, capazes de formar películas por meio do fenômeno da adsorção (NUNES, 2007).

Segundo Ribeiro *et al.* (2020), nos últimos anos, o número de pesquisas envolvendo o uso de extratos de frutas, plantas e subprodutos industriais têm aumentado significativamente. Esse crescente interesse advém da baixa toxicidade dos produtos naturais em relação aos sintéticos, menores custos de investimentos e reutilização da biomassa (RIBEIRO *et al.*, 2020). Os estudos têm mostrado que esses extratos ricos em antioxidantes, compostos fenólicos, ácido ascórbico, tocoferóis e carotenóides quando colocados em diferentes materiais e meios desenvolvem uma atividade eficaz capaz de proteger o material contra a corrosão (SILVA, 2009).

Diversos estudos demonstram a forma como os inibidores verdes se comportam na superfície dos materiais metálicos, comportamento que irá depender diretamente das propriedades físico-químicas do grupo funcional da substância que compõe o inibidor (RANI; BASU, 2012). Para que os mecanismos de ação sejam totalmente eficazes é necessário que o inibidor seja facilmente adsorvido pela superfície metálica através dos processos de fisissorção e quimissorção, sendo formada uma camada protetora que ajuda a minimizar o processo de corrosão (PALOU; LIKHANOVA; XOMELT, 2013). A presença dos constituintes heterocíclicos (flavonóides e alcaloides) e policíclicos são os principais responsáveis pela inibição dos inibidores orgânicos (SILVA, 2009). A Figura 13 ilustra a estrutura química dos flavonóides:

Figura 13 - Estrutura química dos principais flavonóides



Flavonoide	R7	R3	R
Apigenina	H	H	H
Luteolina	H	H	OH
Quercetina	H	OH	OH
kaempferol	H	OH	H

Fonte: ROCHA (2013)

Paul e Kar (2012) estudaram os inibidores verdes extraídos da levedura, pimenta e casca de alho no combate à corrosão em estruturas de aço carbono em meio ácido. No final da pesquisa foi comprovado que os inibidores utilizados agiram de forma satisfatória na redução da velocidade e formação de produtos de corrosão.

Rocha (2013) em sua tese avaliou a eficiência de extratos naturais obtidos a partir de subprodutos domésticos como inibidores de corrosão em meio neutro e ácido. Os objetos de estudo foram extratos provenientes da casca de laranja, semente de mamão e bagaço de uva. Nessa pesquisa, a autora conclui que os inibidores naturais tiveram um bom desempenho nos três meios, no qual o extrato do bagaço de uva e infuso da laranja tiveram uma maior eficiência de inibição no meio neutro em 72 h de imersão através dos ensaios de perda de massa.

A espécie de melancia (*Citrullus lanatus*) foi investigada por Odewunmi, Umoren e Gasem (2015) que utilizaram sua casca e semente para a produção de um bioinibidor ambientalmente correto para combater a corrosão do aço carbono em solução aquosa contendo HCl. Ensaios eletroquímicos à temperatura ambiente confirmaram a ação inibitória do extrato tanto nos processos anódicos como catódicos, através do processo de adsorção.

Batista (2021) testou os resíduos industriais da laranja, manga, goiaba, abacaxi, limão, maçã, maracujá, cana-de-açúcar, berinjela, tamarindo e pepino coletados a partir da indústria de polpas como inibidores de corrosão do aço carbono em meio ácido contendo HCl. Os resultados obtidos através da espectroscopia de impedância eletroquímica revelaram que os extratos inibiram o aço carbono 1020 com uma eficiência de inibição variando de 60% a 94%. Os extratos que apresentaram maior eficiência de inibição foram os extraídos do tamarindo, maracujá, pepino e berinjela.

Kumar, Pillai e Thusnavis (2011) utilizaram as sementes da goiaba (*Psidium guajava*) para avaliar sua eficiência sobre o aço carbono em meio levemente ácido. Por meio das análises o estudo revelou que o extrato atuou como um inibidor de corrosão seguro, eficaz e totalmente ecológico.

O extrato da espécie *Punica granatum* (Romã) foi investigado por Behpour *et al.* (2012) como uma alternativa ecologicamente viável no combate à corrosão do aço carbono macio em solução de ácido sulfúrico e ácido clorídrico. As técnicas aplicadas no estudo foram a polarização eletroquímica, medida de perda de massa e espectroscopia de impedância, no qual foi observado que o extrato da *Punica granatum* em uma concentração de 1,0 g.L⁻¹ inibiu a corrosão em ambas as soluções com uma eficiência de 95,8% .

5.6 CASCA DA LARANJA

A *Citrus sinensis* L. Osbeck (Figura 14) pertencente à família Rutaceae é conhecida popularmente pelo apelido de laranja “Pêra” ou laranja “doce” por ser uma fruta que lembra o formato de uma pêra com sabor adocicado (LEITE, 2021). Dentre suas características se destaca a cor alaranjada se sua casca e polpa, espessura fina e média e vesículas de óleo em nível.

Figura 14 - *Citrus sinensis* L. Osbeck



Fonte: LEITE (2021)

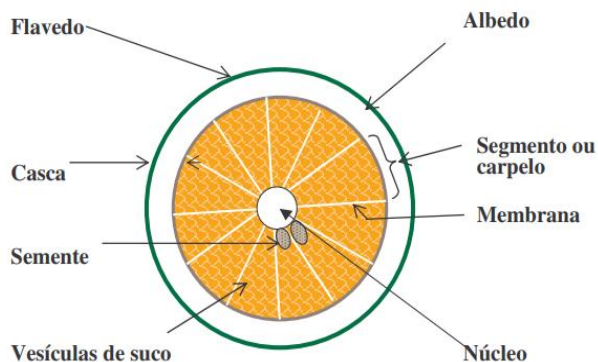
As frutas cítricas se desenvolvem predominantemente em países de clima tropical, tornando o Brasil o maior produtor mundial em escala, representando cerca de 50% de toda produção, no qual são produzidas 427 milhões de caixas por ano. Além disso, as laranjas são produzidas durante todo o ano, tendo cada estação uma espécie predominante em cultivo, a laranja pêra é cultivada nos meses de julho a outubro na chamada meia estação, equivalente a 22% de toda a produção anual (SANTANA, 2005).

A laranja pêra é morfologicamente composta por:

1. Flavedo: parte externa da laranja que possui pigmento verde oriundo dos cloroplastos;
2. Albedo: Parte branca da casca que representa 40 a 50% da fruta;
3. Vesículas de suco: Uma laranja pêra pode produzir em média 50 a 55% de suco.

A Figura 15 ilustra um corte equatorial da laranja onde se pode ver todas as suas divisões:

Figura 15 - Corte equatorial da laranja

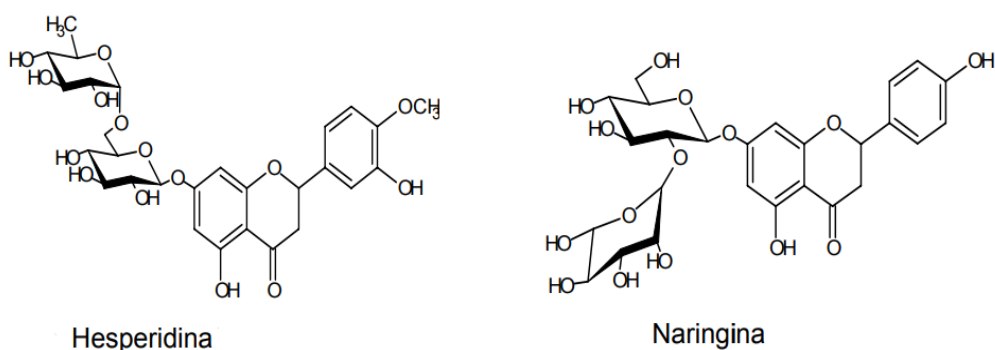


Fonte: SANTANA (2005)

Na composição química da laranja pêra existem elementos químicos bastante complexos, dentre eles temos: água (86% a 92%), açúcares (5% a 8%), pectina (1% a 2%), compostos nitrogenados (0,7% a 0,8%), minerais (0,5% a 0,9%), óleo essencial, lipídios (0,2% a 0,5%), enzimas, pigmentos, vitaminas e flavonóides. Os flavonóides recebem uma atenção especial no presente trabalho, já que representam os principais constituintes na casca e na polpa das laranjas do gênero citrus (SILVA, 2009).

A hesperidina e naringina (Figura 16), que são flavonóides do grupo das flavanonas, estão presentes na membrana da casca de laranjas doces (pêra e tangerina) e são compostos altamente antioxidantes. Manifestam-se na forma de cristais, filmes ou flocos nos sucos com alta concentração, além disso, a naringina é uma substância amarga e, quanto maior a maturação do fruto, menor será a concentração de hesperidina (BATISTA, 2021).

Figura 16 - Representação estrutural da Hesperidina e Naringina

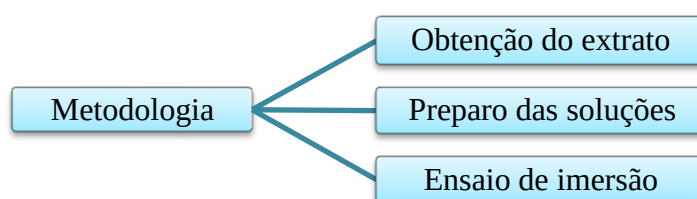


Fonte: SILVA (2009)

6 METODOLOGIA

Nesta seção, está descrito as etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento do experimento referente à obtenção do extrato, preparo das soluções em meio ácido, neutro e básico com e sem a presença do extrato da laranja (Figura 17), os materiais e métodos utilizados para medir a taxa de corrosão do aço carbono nos três meios e os cálculos adotados para calcular a Tc das soluções e eficiência do inibidor orgânico.

Figura 17 - Etapas metodológicas



Fonte: AUTOR (2022)

6.1 OBTENÇÃO DO EXTRATO

A laranja foi obtida no comércio de alimentos do Iracema supermercados, comercializada na cidade de Iracema-CE. Foram selecionadas dez unidades de laranja pêra que inicialmente passaram por um processo de higienização com detergente neutro e lavadas em água corrente. Em seguida, as mesmas foram descascadas e colocadas em ambiente arejado, para ficarem expostas ao calor do sol por aproximadamente 48 horas. Após a secagem, as cascas foram trituradas em um liquidificador com o objetivo de reduzir o seu tamanho para uma maior superfície de contato.

Figura 18 - Higienização da laranja e exposição ao sol



Fonte: AUTOR (2022)

O Laboratório de Química Aplicada (LQA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) do centro multidisciplinar de Pau dos Ferros foi utilizado para a realização das etapas subsequentes, essenciais para a obtenção final do extrato aquoso e preparo das amostras.

Utilizando a balança analítica (Modelo M254A), da Bel Engineering, com uma precisão de quatro casas decimais foi feita a medição em gramas (g) das cascas trituradas (Figura 19), obtendo-se um valor de 68,4401 g.

Figura 19 - Medida em gramas das cascas das laranjas



Fonte: AUTOR (2022)

O método utilizado na pesquisa para obtenção do inibidor orgânico foi à extração por infusão, que consiste em mergulhar uma substância em água fria ou fervente, visando otimizar a extração das propriedades presentes no material vegetal. Para tal procedimento, as cascas foram colocadas em uma estufa, havendo um controle periódico da temperatura em 40°C por aproximadamente 30 minutos. A Figura 20 apresenta o modelo da estufa empregada no procedimento.

Figura 20 - Estufa com circulação e renovação de ar SL - 102



Fonte: AUTOR (2022)

Enquanto as cascas estavam sendo aquecidas na estufa, foi colocada em um Becker cerca de 1000 ml de água destilada utilizando como fonte de aquecimento um agitador magnético com o objetivo de fazer o líquido atingir o seu ponto de ebulição para posteriormente realizar o processo de infusão das cascas (Figura 21).

Figura 21 - Aquecimento da água destilada



Fonte: AUTOR (2022)

Após essa etapa, para a realização da infusão, utilizou-se um suporte para filtragem, posicionado no mesmo um papel filtro, local onde as cascas recém retiradas da estufa foram colocadas e realizado o processo de extração com a água destilada fervida, obtendo-se aproximadamente 900 ml de extrato da laranja.

Figura 22 - Obtenção do extrato da laranja



Fonte: AUTOR (2022)

6.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES

Para a realização dos ensaios de imersão, foram preparadas sete soluções de concentração 1M, no qual foram feitos previamente os devidos cálculos da concentração para cada tipo de soluto e solvente. No meio ácido foi utilizado o ácido acético 4% ou em outras palavras o vinagre (CH_3COOH), para o meio neutro foi usado a água com o cloreto de sódio 12% (NaCl) e no básico o hipoclorito de sódio 2% (NaClO). Cada um dos meios foi submetido à ausência e presença do inibidor de corrosão, além disso, foi colocada em um tubo de ensaio separado uma amostra somente com o extrato, conforme representadas na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Dados para preparação de soluções

Caráter da solução	Meios	Sigla	Quantidade	Volume total
Ácido	Ácido acético	A	7,0 ml	7,0 ml
	Ácido acético + extrato	AE	5,0 ml + 3,5 ml	8,5 ml
Neutro	Cloreto de sódio + Água	N	0,82 g + 7,0 ml	7,0 ml
	Cloreto de sódio + Extrato	NE	0,82 g + 7,0 ml	7,0 ml
Básico	Hipoclorito de sódio	B	7,0 ml	7,0 ml
	Hipoclorito de sódio + Extrato	BE	6,0 ml + 2,0 ml	8,0 ml
	Extrato	E	7,0 ml	7,0 ml

Fonte: AUTOR (2022)

6.3 ENSAIO DE IMERSÃO COM MEDIDA DE PERDA DE MASSA

Os ensaios de perda de massa foram realizados com o objetivo de determinar a taxa de corrosão e eficiência do extrato em contato com as superfícies metálicas em uma variação de temperatura de 27 °C a 30 °C. Os corpos de provas utilizados foram pregos de aço carbono de 4,19 mm de diâmetro e 76,20 mm de comprimento, modelo com cabeça, corpo liso e ponta tipo diamante. Antes de serem colocados nos respectivos meios, os pregos foram lavados com água destilada e álcool 70%, secos com jato de ar quente e pesados em uma balança digital Modelo 14191 – MH calibrada, da HF1976, como mostra a Figura 23, com precisão de duas casas decimais para a determinação de suas massas iniciais. Posteriormente, os pregos foram

submetidos aos sete tipos de meios mencionados na Tabela 2 em um tubo de ensaio de 12x75 mm, garantindo que as amostras ficassem totalmente imersas no meio corrosivo.

Figura 23 - Balança utilizada para a realização das medidas experimentais



Fonte: AUTOR (2022)

O período de ensaio foi de 31 dias, sendo que, a cada dois dias, os pregos eram retirados dos tubos de ensaio para serem pesados, realizando a medição de suas massas. Nos dias de análise, os pregos eram removidos utilizando-se uma pinça específica para cada tipo de meio, evitando-se o contato com as soluções de caráter diferentes, lavados em água destilada, secados e pesados, anotando-se os valores de suas respectivas massas para depois serem imersos novamente nas soluções de trabalho. A disposição dos corpos de prova ao longo da fase de testes está representada na Figura 24 abaixo:

Figura 24 - Disposição das amostras de aço carbono



Fonte: AUTOR (2022)

6.4 CÁLCULO DA TAXA DE CORROSÃO E EFICIÊNCIA

Para o cálculo da taxa de corrosão (T_c) nos ensaios de perda de massa foi utilizado à Equação 16, obtida a partir da norma ASTM G1-03 (2011).

Equação 16 - Fórmula para calcular a taxa de corrosão (T_c):

$$T_c = (K \cdot W) / A \cdot t \cdot \rho \quad (16)$$

Onde:

T_c : taxa de corrosão em mm/ano;

K: representa um constante no valor de $8,76 \times 10^4$ para a taxa de corrosão em mm/ano;

W: perda de massa em g;

A: área exposta em cm^2 ;

t: tempo de exposição em horas;

ρ : massa específica do material em g/cm^3 , no qual o aço carbono possui uma massa específica de $7,86 \text{ g/cm}^3$.

A eficiência do extrato foi calculada com base na Equação 17 (GENTIL, 2017).

Equação 17 - Fórmula para calcular a eficiência em % de um inibidor:

$$Ef = [(T_s - T_c) / T_s] \times 100 \quad (17)$$

Onde:

Eff: eficiência de inibição em %;

T_s : Taxa de corrosão sem o inibidor, ou seja, em branco;

T_c : Taxa de corrosão com extrato.

Para analisar os resultados gerados pela corrosão nos três meios em estudo, é necessário levar em consideração o meio, as propriedades do metal e as condições operacionais, fatores que influenciam diretamente nos resultados da taxa de corrosão e eficiência do extrato. A Tabela 3 apresenta a classificação da taxa de corrosão adotada pela

norma NACE RP 0775 (2013), que será utilizado no presente trabalho para verificar em que tipo de classificação os resultados das taxas de corrosão se enquadram:

Tabela 3 - Classificação da taxa de corrosão		
Taxa de corrosão Uniforme (mm/ano)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa
Fonte: NACE RP0775 (2013)		

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos ensaios de imersão foram realizadas doze medições (em gramas) das massas dos sete pregos para cada tipo de meio (APÊNDICE A). Por meio das equações (16) e (17) foram calculadas as taxas de corrosão das amostras, bem como a eficiência do inibidor nos respectivos meios. A Tabela 4 apresenta os resultados gerais obtidos:

Tabela 4 - Resultados gerais da TC e eficiência (%) do inibidor

Sistema	Perda de massa (g)	Tc (mm/ano)	Eficiência (%)
A	0,71	1,060	55%
AE	0,32	0,477	
N	0,00	0,000	0%
NE	0,00	0,000	
B	0,14	0,209	28,70%
BE	0,10	0,149	
E	0,00	0,000	0%

Fonte: AUTOR (2022)

Para explicar os resultados calculados das taxas de corrosão e as eficiências do inibidor mostrados na Tabela 4, estudos separados foram feitos para cada tipo de solução com e sem a presença do inibidor, identificando a faixa de classificação conforme a norma NACE RP 0775 (Tabela 3) dos sistemas e as variáveis responsáveis por influenciar as velocidades de corrosão. Além disso, foram feitos gráficos para se analisar as diferenças de perda de massa entre cada tipo de meio na ausência e presença do extrato, verificando a eficiência do bioinibidor. Vale ressaltar ainda que as características individuais dos pregos como as variações de peso, podem influenciar no processo de corrosão e diretamente nos resultados.

7.1 MEIO ÁCIDO

Durante a fase de testes foi possível observar que a velocidade de corrosão no meio ácido foi bastante acentuada para os dois tipos de ensaio. Esse aumento da corrosão deve-se a faixa de pH do ácido acético que segundo Rizzon (2006) varia de 2,69 a 2,83, ou seja, nessa faixa de pH segundo Gentil (2017) o estado de oxidação do ferro se eleva, aumentando

proporcionalmente a taxa de corrosão do aço carbono nesse tipo de solução. Além disso, um dos fatores responsáveis pela aceleração da ação eletroquímica foi à temperatura, onde foi verificado a alta evaporação do líquido, sendo necessário periodicamente repor o volume perdido para não deixar o prego fora da solução. As Figuras 25 e 26 abaixo mostram a aparência final dos tubos de ensaios e dos corpos de prova:

Figura 25 - Solução e corpo de prova em meio ácido sem inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 26 - Solução e corpo de prova em meio ácido com inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

Para o corpo de prova submetido somente a solução ácida, como mostra a Figura 25, sugere-se que ocorreu corrosão uniforme sobre toda a superfície metálica do prego, no qual a camada externa e brilhante foi totalmente removida, tendo sua ponta sofrido um maior ataque

por parte dos íons do ácido acético. Em relação ao prego na presença do extrato houve a formação de uma coloração escura aderente sobre extensão do prego, como se pode verificar visualmente na Figura 26, gerada pela reação entre o produto de corrosão e o inibidor. A única área que sofreu corrosão foi à ponta do prego, devido ao contato do mesmo com o ambiente aerado entre os dias 15 e 18 de abril (houve evaporação da solução e por conta disso parte do prego ficou exposta ao meio aerado). Diante disso, é possível deduzir que a presença do extrato altera a composição dos compostos formados sobre a extensão do aço carbono, formando uma camada protetora que reduz as reações de oxidação e redução.

Durante os primeiros dias de imersão, notou-se a formação de bolhas gasosas ao redor dos corpos de prova que, de acordo com o diagrama de Pourbaix, resulta do desprendimento do hidrogênio, já que em soluções com um pH muito ácido o ferro se corrói com redução de H^+ (GENTIL, 2017). No meio ácido, a concentração do depósito de ferrugem foi bem mais elevada quando comparado com os outros sistemas e a formação de bolhas resultou na produção de uma espuma formada por $H^+_{(aq)}$ que se apresentava sobre a camada superficial do líquido e que aumentava de acordo com o passar dos dias. Em contrapartida, no sistema AE a formação de bolhas e produtos de corrosão foi bem menor durante os 31 dias de experimentação.

Segundo Quadros (2019), os inibidores orgânicos devem ser eficientes na proteção do metal reduzindo as taxas de corrosão e impedindo que danos aconteçam a sua estrutura. A partir dessa perspectiva, pode-se verificar, a partir da Tabela 5, que no sistema sem o extrato a T_c calculada foi de 1,060 mm/ano enquanto que o sistema com o extrato apresentou uma T_c de 0,477 mm/ano, orientando a alta proteção do inibidor orgânico na redução da taxa de corrosão sobre o aço carbono, evitando que o material tenha uma perda em sua espessura de 0,583 mm/ano.

Tabela 5 - Dados obtidos nos meios A e AE

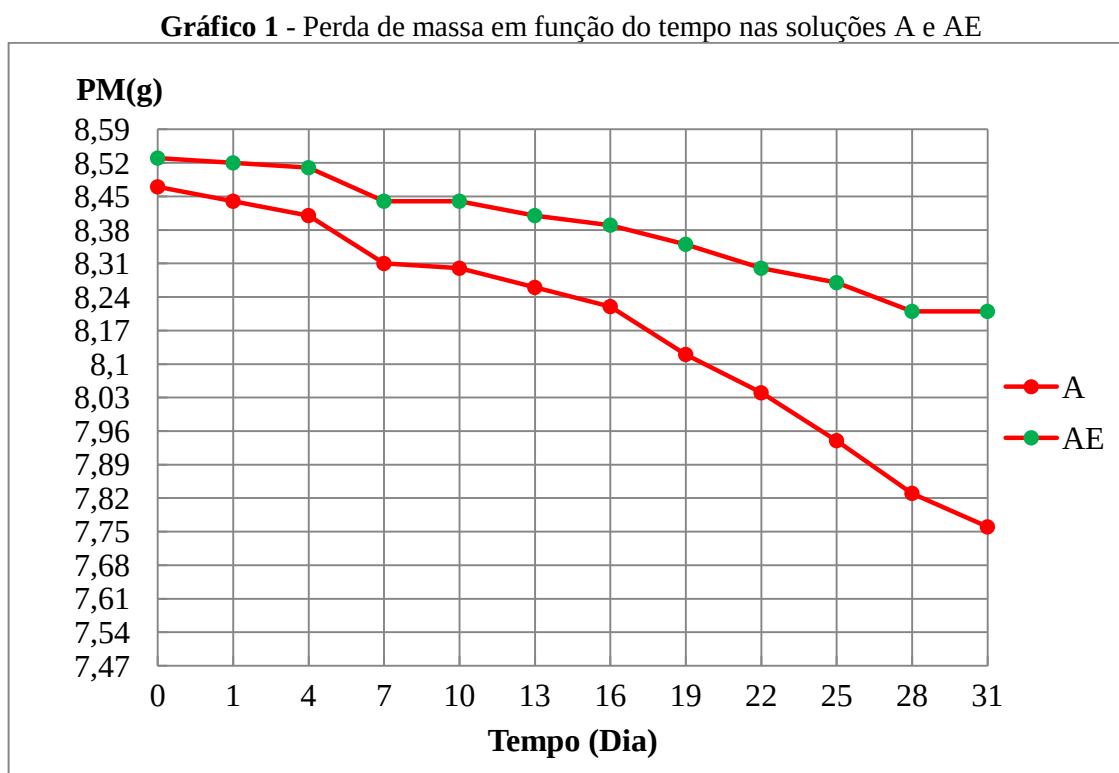
Meio	Peso original da amostra (g)	Peso final da amostra (g)	Perda de massa (g)	T_c (mm/ano)	Eficiência do extrato (%)
A	8,47	7,76	0,71	1,060	55
AE	8,53	8,21	0,32	0,477	

Fonte: AUTOR (2022)

De acordo com a Tabela 3 da norma NACE RP 0775 (2013), que classifica a faixa de agressividade do meio de acordo com o valor da T_c , tanto o meio A como o meio AE

possuem uma faixa de corrosividade agressiva. Provavelmente o tipo de reagente utilizado e a quantidade de solução com inibidor para o tamanho do prego não tenha sido suficiente.

O Gráfico 1 apresenta a perda de massa em função do tempo dos dois sistemas A (ácido sem extrato) e AE (ácido com extrato). Através da análise do gráfico é possível sugerir que o sistema AE teve uma maior estabilidade ao longo dos dias em sua reta devido a sua menor perda de massa, enquanto que o sistema A teve uma significativa perda durante os dias 16 e 31 de abril. Diante dos dados, verificamos que o extrato de laranja proporcionou uma ação protetora quando adicionado à solução e uma eficiência calculada de 55%, minimizando de forma significativa a ação corrosiva.



Fonte: AUTOR (2022)

7.2 MEIO NEUTRO

Dentre todos os ensaios realizados, o meio neutro mostrou-se menos agressivo à corrosão. A Figura 27 e a Figura 28 apresentam a aparência final dos pregos, onde se observa que houve alteração na aparência original de ambos, no qual o corpo de prova imerso com o extrato formou uma camada protetora. Tanto no meio N como no meio NE propõe-se que houve a formação de cloreto férrico (FeCl_3) gerado a partir da reação entre os íons de ferro do metal e os íons de cloro liberados na solução. Pode-se verificar nitidamente, de forma mais

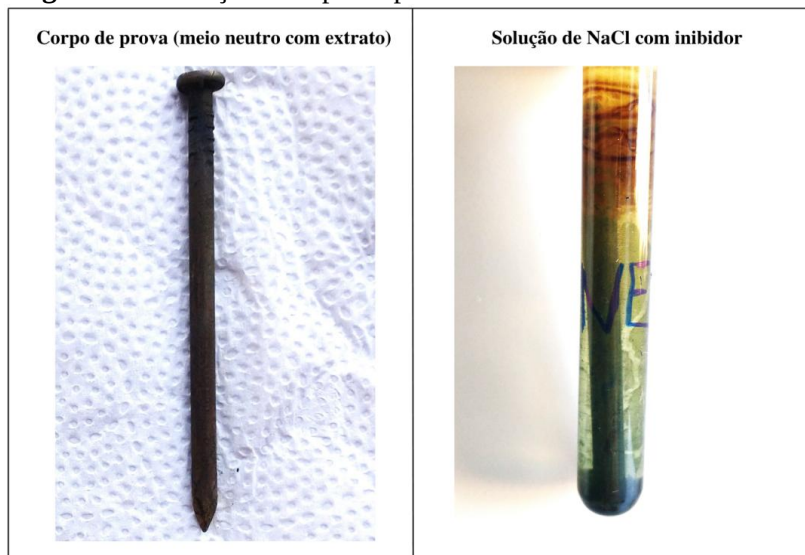
recorrente, no sistema sem extrato (N) as partículas de cloreto férrico espalhadas na solução com uma pigmentação escura e no sistema com o extrato de laranja (NE) uma coloração esverdeada.

Figura 27 - Solução e corpo de prova em meio neutro sem inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 28 - Solução e corpo de prova em meio neutro com inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

No meio neutro o valor das massas se manteve constante para as duas amostras. Como não houve mudança na massa original à taxa de corrosão dos pregos e a eficiência do extrato tiveram seus valores zerados, como apresentados na Tabela 6, já que deve haver uma diferença entre os valores para se ter um resultado referente a perda de espessura do material

por ano. Segundo a norma NACE RP 0775 (2013) para valores da Tc abaixo de 0,025 a taxa de corrosividade do sistema N e NE se classificam como baixa.

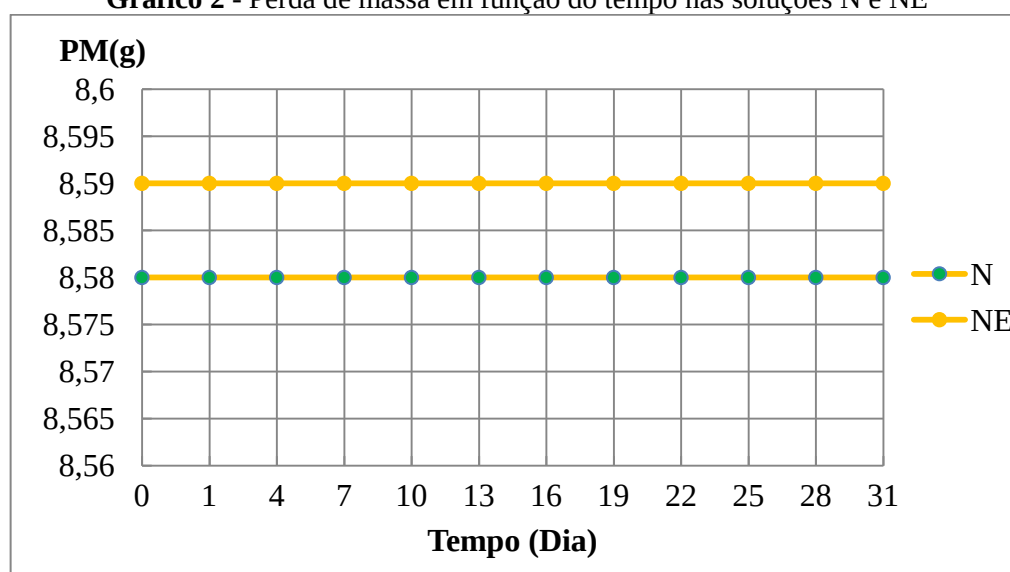
Tabela 6 - Dados obtidos nos meios N e NE

Meio	Peso original da amostra (g)	Peso final da amostra (g)	Perda de massa (g)	Tc (mm/ano)	Eficiência do extrato (%)
N	8,58	8,58	0,00	0,00	0%
NE	8,59	8,59	0,00	0,00	

Fonte: AUTOR (2022)

O Gráfico 2 ilustra as medidas que foram feitas das massas com o passar dos dias, que podem ser vistas também no APÊNDICE A , em que as retas mantiveram a mesma inclinação resultante do mesmo valor das massas durante todo o mês:

Gráfico 2 - Perda de massa em função do tempo nas soluções N e NE



Fonte: AUTOR (2022)

O caso mostrado acima no Gráfico 2 pode ser explicado pela Figura 11 comentada anteriormente na revisão bibliográfica deste trabalho que relaciona o pH com a taxa de corrosão. Assim, para uma faixa de pH entre 4,5 e 10 a corrosão irá depender somente da quantidade de oxigênio dissolvido em água que em nosso caso foi reduzido e não da quantidade de íons H^+ dissolvidos em solução como ocorre no meio ácido (GENTIL, 2017). Portanto, a taxa de corrosão não terá muitas variações ou nenhuma modificação.

Um fato interessante que ocorreu no sistema com o extrato foi à formação de uma película sobre a camada superficial do líquido, como mostra a Figura 29, no qual podemos

relacionar como um mecanismo que o inibidor criou para proteger a solução de influências externas, evitando que o prego sofresse corrosões posteriores.

Figura 29 - Camada protetora formada no meio NE



Fonte: AUTOR (2022)

7.3 MEIO BÁSICO

No meio básico, entre o primeiro e segundo dia de imersão, o prego gerou elevados produtos de corrosão nos dois meios, resultante do contato entre os íons de ferro e os íons da solução de NaClO . Podemos constatar na Figura 30 o precipitado de cor alaranjada nas soluções e a geração de corrosão por pites ao redor do prego que foi imerso na solução B.

Figura 30 - Prego em meio básico em um dia de imersão



Fonte: AUTOR (2022)

Aconselha-se que o prego no meio alcalino sem extrato sofreu corrosão localizada em alguns pontos, de acordo com a Figura 31, enquanto que o prego da solução alcalina com extrato (Figura 31) aparentemente não teve nenhum tipo de corrosão em sua superfície

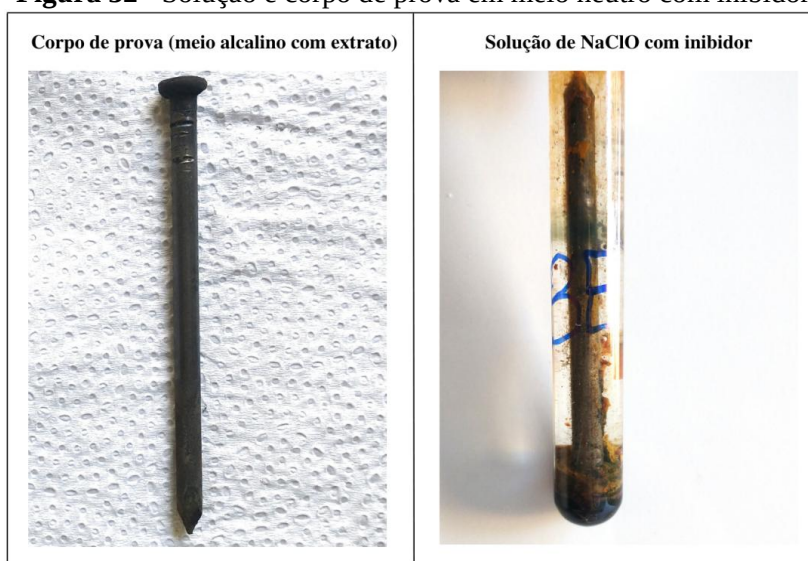
externa, havendo sobre a mesma apenas a formação de uma coloração escura como ocorreu nos outros sistemas na presença do extrato de laranja.

Figura 31 - Solução e corpo de prova em meio básico sem inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

Figura 32 - Solução e corpo de prova em meio neutro com inibidor



Fonte: AUTOR (2022)

Como esperado no meio básico, houve pouca variação de massa após o período de ensaio. De acordo com a resolução-RDC nº 110 (2016) o pH da água sanitária varia entre 11,5 e 13,5 no qual de acordo o gráfico da Figura 11 elaborado por Gentil (2017) e o diagrama de Pourbaix para valores maiores que 10, a taxa de corrosão diminui devido a alcalinidade do meio, que faz com que o ferro entre em uma região conhecida como domínio da passividade, adquirindo uma tendência a formar um óxido insolúvel em água que tem

como função passivar o metal e protegê-lo de futuras oxidações, normalmente esse óxido se apresenta na forma de uma camada protetora.

Devido às pequenas variações de massa entre os sistemas a eficiência calculada foi de 28,71%, enquanto que a Tc calculada do meio B (básico sem extrato) foi de 0,209 mm/ano sendo classificada segundo a norma NACE RP 0775 (2013) como uma corrosividade alta e o meio BE (básico com extrato) que obteve uma Tc de 0,149 mm/ano uma corrosividade moderada.

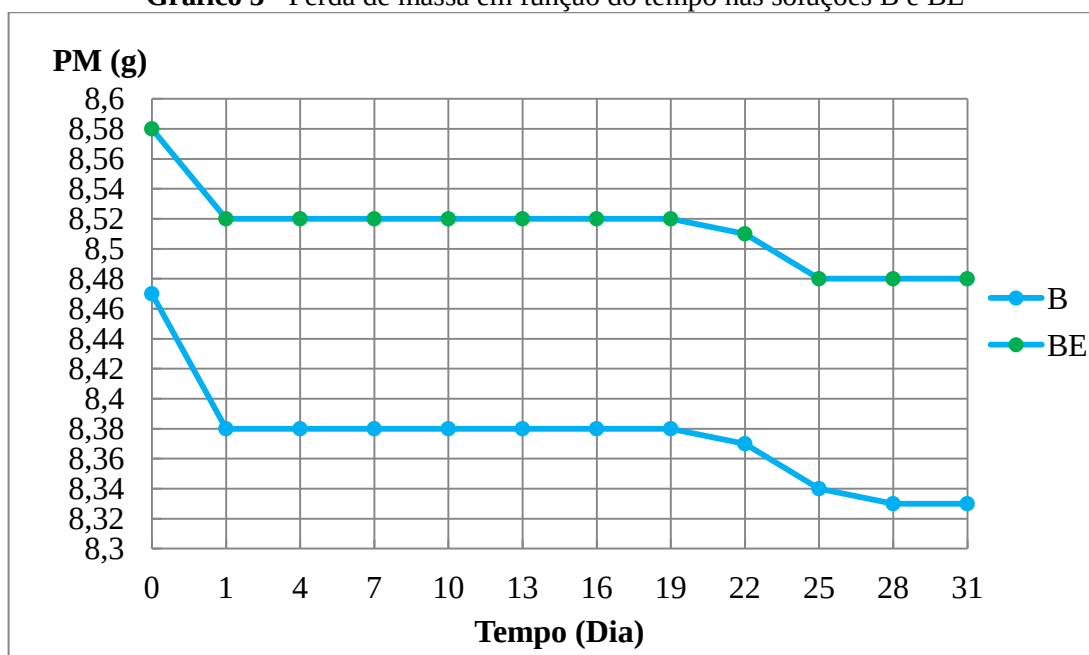
Tabela 7 - Dados obtidos nos meios B e BE

Meio	Peso original da amostra (g)	Peso final da amostra (g)	Perda de massa (g)	Tc (mm/ano)	Eficiência do extrato (%)
B	8,47	8,33	0,14	0,209	28,71
BE	8,58	8,48	0,10	0,149	

Fonte: AUTOR (2022)

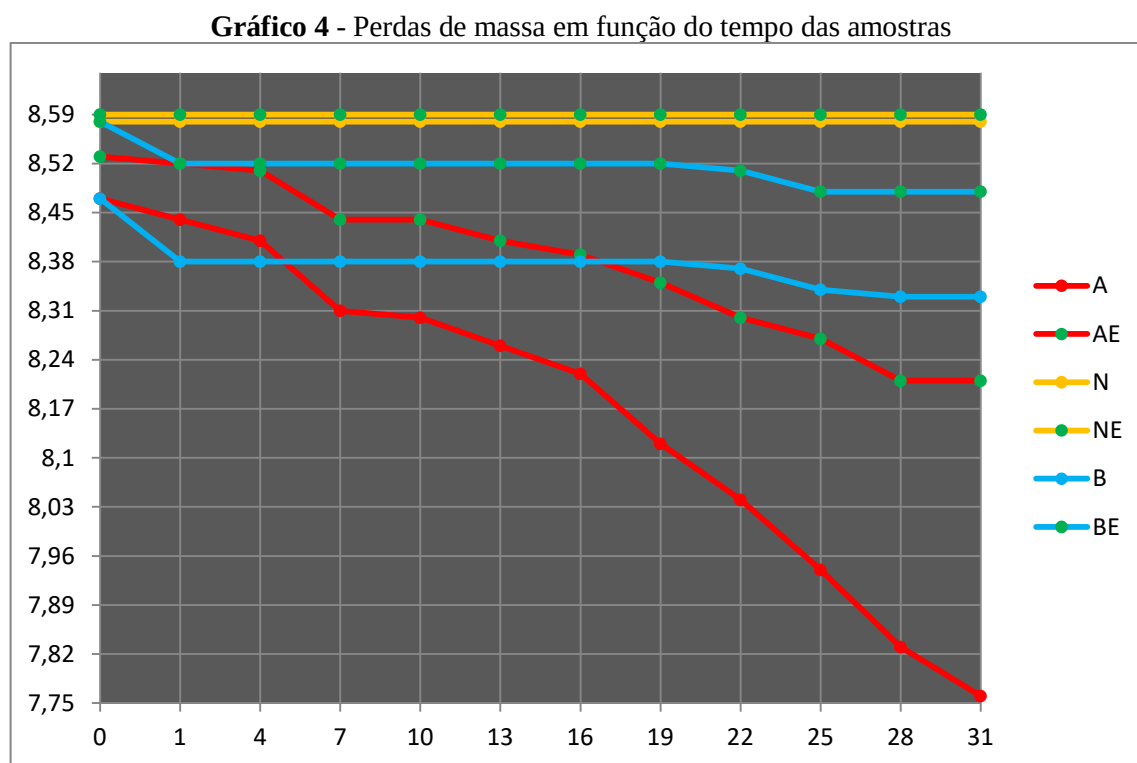
Através do Gráfico 3 podemos confirmar a pequena diferença entre os dois sistemas, no qual no primeiro dia a perda de massa foi maior no meio sem extrato de 0,10g em relação ao meio com extrato de 0,06g. As perdas de massa depois desse ataque inicial do reagente sobre o prego foram pouco significativas no restante dos dias, tendo os dois meios quase a mesma trajetória no gráfico.

Gráfico 3 - Perda de massa em função do tempo nas soluções B e BE



Fonte: AUTOR (2022)

No Gráfico 4 temos uma visão geral das perdas de massa em todos os sistemas. Através dele, pode-se sugerir que no meio ácido o inibidor teve um melhor desempenho, onde a perda de massa foi pequena quando comparada com o meio sem o inibidor. Nesse contexto, podemos propor que o extrato reduz de forma significativa a taxa de corrosão, comprovando de forma satisfatória sua eficiência e aplicação.



Fonte: AUTOR (2022)

Diante de todo o exposto, recomenda-se a utilização de bionibidores para o controle e/ou redução da taxa corrosiva, como uma alternativa viável para aplicabilidade nas mais diversas áreas em que o aço atua, principalmente na construção civil.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, o extrato obtido a partir da casca de laranja pêra foi avaliado com o objetivo de determinar sua eficiência como inibidor de corrosão em meio ácido, neutro e básico. A técnica eletroquímica utilizada para realizar as análises foi o ensaio de imersão dos corpos de prova, no qual foram feitas comparações dos resultados obtidos ao final do estudo referente aos sistemas com e sem a adição do inibidor de corrosão. Além disso, através das perdas de massas foi possível desenvolver análises qualitativas e quantitativas das amostras.

O extrato natural da laranja mostrou ser um possível inibidor de corrosão para as superfícies contendo aço carbono nos três ambientes corrosivos. As análises obtidas em meio aquoso de ácido acético na presença do inibidor alcançaram melhores resultados quando comparados com a solução sem o extrato, tendo uma menor perda de massa de 0,32g, ou seja, um valor equivalente à metade da massa perdida no meio sem o extrato que obteve uma redução significativa de 0,71g. Portanto, propõe-se que houve uma diminuição da taxa de corrosão em aproximadamente 0,583 mm/ano na espessura do aço carbono, atingindo uma eficiência de 55%.

Os pregos imersos na solução aquosa de hipoclorito de sódio com e sem a adição de extrato tiveram perdas de massa semelhantes e com pouca modificação em relação ao seu peso original, devido à tendência como mencionado anteriormente, do metal entrar na região de passividade, mostrando dessa forma, sua resistência à corrosão. Por outro lado, o meio neutro teve resultados irrelevantes, já que os pregos fabricados em aço carbono servem justamente para retardar a corrosão nesses tipos de ambientes.

Por meio dos estudos aconselhou-se que o extrato da laranja modificou a composição química da camada aderente sobre a superfície de todos os pregos, formando uma espécie de filme protetor, gerado provavelmente devido à presença dos compostos fenólicos na composição química da laranja que interagiram diretamente com os produtos de corrosão e a região do prego, contribuindo para a diminuição do ataque corrosivo.

As análises qualitativas feitas a partir dos registros fotográficos das soluções e dos corpos de prova comprovaram que com a presença do inibidor foi possível verificar a diminuição da ferrugem nos sistemas. Diante disso, não há dúvidas a respeito da atuação do extrato como inibidor de corrosão para as estruturas de aço carbono. Ao fim deste trabalho, sugere-se que, os inibidores naturais apresentam um crescente potencial na redução das taxas de corrosão, gerando benefícios econômicos e ecológicos.

8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para aprofundar o estudo a respeito das interações que ocorrem entre o composto orgânico e a superfície do eletrodo, sugiro analisar quimicamente as superfícies dos pregos através das técnicas de espectroscopia de impedância eletroquímica, varredura potenciodinâmica e cronoamperometria.

A utilização da casca de outras frutas na produção de um novo extrato será bem relevante com o intuito de comparar os resultados obtidos com o presente estudo, ampliando o conhecimento acerca da eficiência e benefícios que esses compostos naturais geram. Além disso, verificar a repetibilidade e reprodutibilidade do experimento empregando a triplicata será importante para gerar resultados mais precisos e eficazes.

É importante também avaliar a estabilidade do extrato de acordo com o tempo de armazenagem (estabilidade de prateleira) e o desempenho do mesmo em diferentes concentrações. Além disso, outros métodos de extração como a liofilização e a extração hidroalcoólica, podem melhorar o desempenho do inibidor orgânico.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P. W; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

ALVES, Gabriel Ferreira. **ANÁLISE DOS AVANÇOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ALGUMAS EDIFICAÇÕES DO INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE – GO**. 2020. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2020.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 110, de 6 de setembro de 2016. Dispõe sobre regulamento técnico para produtos saneantes categorizados como água sanitária e dá outras providências. **Diário oficial da união**: parte 1: Poder Executivo, Brasília, v. 1, n. 110, p. 39, 6 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 87: Aço carbono e ligados para construção mecânica: designação e composição química**. Rio de Janeiro, 2000.

American Society for Testing and Materials. **ASTM G1-03: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens**. West Conshohocken, 2011.

ALMEIDA, Cássia Carvalho de. **Avaliação de inibidores verdes microemulsionados na inibição à corrosão do aço carbono AISI 1020**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BROWN, Theodore L. *et al.* **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BATISTA, Francisco Eudásio Ferreira. **Rejeitos da indústria de polpas aplicados como inibidores de corrosão do aço carbono em meio ácido**. 2021. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

BEHPOUR, M. *et al.* Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acidic solutions by the extract of Punica granatum peel and main constituents. **Materials Chemistry and Physics**, v. 131, n. 3, p. 621-633, janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058411008716>. Acesso em: 30 ago. 2021.

BMS. Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada: Custos com corrosão correspondem de 1 a 5% do PIB dos países: custos com corrosão correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. 21 set. 2020. Disponível em: <https://brasilminingsite.com.br/processo-de-corrosao-faz-com-que-30-da-producao-mundial-de-ferro-e-aco-seja-desperdicada/#:~:text=BRASIL%20MINING%20SITE-.Processo%20de%20corros%C3%A3o%20faz%20com%20que%2030%25%20da%20produ>

[%C3%A7%C3%A3o%20mundial,ferro%20e%20a%C3%A7o%20seja%20desperdi%C3%A7ada&text=A%20Nexa%20estima%20que%2C%20com,R%24%2072%20bilh%C3%B5es%20por%20ano.%20Acesso%20em:%209%20maio%2020202. Acesso em: 15 ago. 2021.](#)

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNUMAD). **AGENDA 21**. Dispõe sobre os instrumentos de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. Rio de Janeiro, 1992.

CALLISTER, Willian D. Jr; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

CHANG, Raymond. GOLDSBY, Kenneth A. **Química**. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

COSTA, Stefane. N. **Compostos derivados do imidazol como inibidores da corrosão do aço carbono em meio ácido**. Orientador: Pedro de lima Neto. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FINAMORE, Dilhermando José. **Avaliação da corrosão uniforme e puntiforme em meio aquoso aerado utilizando a técnica de cupons de perda de massa**. Orientador: Angelus Giuseppe Pereira da Silva. 2016. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

FIEP. Efeitos da corrosão afetam o PIB de um país, mas podem ser controlados. 18 mar. 2019. Disponível em: <https://agenciafiep.com.br/2019/03/18/efeitos-da-corrosao-afetam-o-pib-deum-pais/>. Acesso em: 7 ago. 2021.

GERDAU. Aço: Sua aplicação e relação com o carbono. 11 jul. 2019. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/blog-acos-especiais/aco-e-sua-aplicacao-e-relacao-com-o-carbono>. Acesso em: 24 abr. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

GROSSER, Fabiana Nogueira. **Inibidores orgânicos de corrosão: Estudos com compostos naturais obtidos de diversas espécies de mentas**. 2015. 91 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

KUMAR, K. P. Vinod; PILLAI, M. Sankara Narayana; THUSNAVIS, G. Rexin. Seed Extract of *Psidium guajava* as Ecofriendly Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Medium. **Journal of Materials Science e Technology**. v. 27, n. 12, p. 1143 – 1149, dez. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1005030212600>. Acesso em: 23 abr. 2022.

LATTMANN, Bruno Henrique; ALVES, Klayton Marcel Prestes. **Corrosão: princípios, análises e soluções**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2020.

LEITE, Rafael. Laranja Pêra. Agricitrus, 23 ago. 2021. Disponível em: <https://www.agricitrus.com.br/2021/08/23/laranja-pera/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

MACEDO, Jonas Fernando. **Estudo das propriedades mecânicas, microestruturais e susceptibilidade do aço API 5L X70 à fragilização por hidrogênio**. 2020. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2020.

National Association of Corrosion Engineers. **NACE RP 0775: Preparation, Instalation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations**. Houston, 2013.

NETO, João Isidro *et al.* **UTILIZAÇÃO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2021. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Edificações) – Escola Técnica Estadual Júlio de Mesquita, Santo André, 2021.

NETO, Antonio dos Reis de Faria. **Avaliação de rejeitos de Paullinia cupana como inibidor de corrosão em aço carbono aplicando técnica gravimétrica e de ruído eletroquímico**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2007.

ODEWUNMI, N. A; UMERON, S. A; GASEM, Z. M. Watermelon waste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 3, n. 1, p. 286 – 296, mar. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343714002292>. Acesso em: 23 abr. 2022.

PAIVA, Jardel Hugo Gonçalves. **Análise do processo corrosivo por frestas do aço ARBL (alta resistência e baixa liga) em meio salino**. 2018. 14f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

PALOU, Rafael M; LIKHANOVA, Natália V; XOMELT, Octavio Olivares. Environmentally Friendly Corrosion Inhibitors. **Materials Science and Technology**, v. 1, n. 10, p. 1-36, out. 2013. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/46238>. Acesso em: 25 set. 2021.

PAUL, Subir; KAR, Bikash. Mitigation of mild steel corrosion in acid by green inhibitors: yeast, pepper, garlic and coffee. **International Scholary Research Network**, v. 2012, n. 641386, p. 1-8, dez. 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/641386/>. Acesso em: 22 abr. 2022.

QUADROS, Gabriel Porto. **Análise da eficiência de extratos vegetais para aplicação como inibidores de corrosão**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019.

RIZZON, Luiz Antenor. Sistema de produção de vinagre. Embrapa, 2006. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinagre/SistemaProducaoVinagre/composicao.htm>. Acesso em: 22 abr. 2022.

ROCHA, Thiago Ramalho da. **Reavaliação da eficiência de óleo de coco saponificado e de sua microemulsão como inibidores de corrosão em uma célula eletroquímica**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ROCHA, Janaina Cardoso da. **Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais**. 2013. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

RIEDER, E. S; BRUSAMARELLO, V; BIANCHI, A. L. *et al.* Investigação dos principais processos de corrosão em estações de energia elétrica do Estado do RS. **Revista Matéria**, v. 14, n. 3, p. 1000-1014, set. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/zsswW7FRg7m3LkSJ9gVZypx/?lang=pt&format=pdf>.

RANI, B. E. Amitha; BASU, Bharathibai J. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview. **International Journal of Corrosion**. v. 2012, n. 380217, p. 1-15, jun. 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijc/2012/380217/>. Acesso em: 18 set. 2021.

RIBEIRO, Daniel Viéras *et al.* **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora Ltda., 2020.

SOUSA, Israel de Macedo. **REVESTIMENTO INTERNO DE TUBOS DE AÇO API 5L GRAU B COM NITRETO DE TITÂNIO DEPOSITADO A PLASMA COM GAIOLA CATÓDICA**. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2017.

SANTANA, Maristela de Fátima Simplicio de. **Caracterização físico-química de fibra alimentar de laranja e maracujá**. 2005. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

SILVA, Lidércia Cavalcanti Ribeiro Cerqueira e. **Desenvolvimento de estratégias analíticas para determinação de flavanonas e psoraleno por clareamento em sucos de laranjas de diferentes procedências**. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade da Bahia, Salvador, 2009.

SERRA, Eduardo Torres. **CORROSÃO E PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DOS METAIS NO SOLO**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

SEMA. **Propostas aprovadas na Conferência Distrital do Meio Ambiente – 2017**. 30 out. 2018. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/propostas-para-o-ambiente-do-df-aprovadas-na-conferencia-distrital-do-meio-ambiente-2017/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

ZORTÉA, Jéssica Balbinot. **ESTUDO DO MEIO CORROSIVO E DA CORROSÃO DE DIFERENTES AÇOS CARBONO EM ÁGUA CLARIFICADA DE UMA PLANTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL**. 2020. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

APÊNDICE A – MEDIDAS DAS MASSAS OBTIDAS

Tabela 8 - Valores das massas dos pregos em g

MASSAS EM GRAMAS (g)							
DIA	A	AE	N	NE	B	BE	E
26/mar	8,47	8,53	8,58	8,59	8,47	8,58	8,65
28/mar	8,44	8,52	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
31/mar	8,41	8,51	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
03/abr	8,31	8,44	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
06/abr	8,30	8,44	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
09/abr	8,26	8,41	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
12/abr	8,22	8,39	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
15/abr	8,12	8,35	8,58	8,59	8,38	8,52	8,65
18/abr	8,04	8,30	8,58	8,59	8,37	8,51	8,65
21/abr	7,94	8,27	8,58	8,59	8,34	8,48	8,65
24/abr	7,83	8,21	8,58	8,59	8,33	8,48	8,65
27/abr	7,76	8,21	8,58	8,59	8,33	8,48	8,65

Fonte: Autor (2022)

ANEXO A – TABELA DE POTENCIAIS PADRÃO DE REDUÇÃO

Tabela 9 - Potenciais padrão de redução a 25°C

Semi-reação	E° (V)	Semi-reação	E° (V)
$\text{Ag}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s)$	+0,799	$\text{HO}_2^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow 3\text{OH}^-(aq)$	+0,88
$\text{AgBr}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{Br}^-(aq)$	+0,095	$\text{H}_2\text{O}_2(aq) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$	+1,776
$\text{AgCl}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{Cl}^-(aq)$	+0,222	$\text{Hg}_2^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Hg}(l)$	+0,789
$\text{Ag}(\text{CN})_2^-(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + 2\text{CN}^-(aq)$	-0,31	$2\text{Hg}_2^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Hg}_2^{2+}(aq)$	+0,920
$\text{Ag}_2\text{CrO}_4(s) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Ag}(s) + \text{CrO}_4^{2-}(aq)$	+0,446	$\text{Hg}_2^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Hg}(l)$	+0,854
$\text{AgI}(s) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + \text{I}^-(aq)$	-0,151	$\text{I}_2(s) + 2e^- \longrightarrow 2\text{I}^-(aq)$	+0,536
$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-} + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s) + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(aq)$	+0,01	$\text{IO}_3^-(aq) + 6\text{H}^+(aq) + 5e^- \longrightarrow \text{I}_2(s) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$	+1,195
$\text{Al}^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow \text{Al}(s)$	-1,66	$\text{K}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{K}(s)$	-2,925
$\text{H}_3\text{AsO}_4(aq) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow$	+0,559	$\text{Li}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Li}(s)$	-3,05
$\text{H}_3\text{AsO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$		$\text{Mg}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}(s)$	-2,37
$\text{Ba}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Ba}(s)$	-2,90	$\text{Mn}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Mn}(s)$	-1,18
$\text{BiO}^+(aq) + 2\text{H}^+(aq) + 3e^- \longrightarrow \text{Bi}(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$	+0,32	$\text{MnO}_2(s) + 4\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow$	+1,23
$\text{Br}_2(l) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Br}^-(aq)$	+1,065	$\text{Mn}^{2+}(aq) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$	
$\text{BrO}_3^-(aq) + 6\text{H}^+(aq) + 5e^- \longrightarrow$	+1,52	$\text{MnO}_4^-(aq) + 8\text{H}^+(aq) + 5e^- \longrightarrow$	+1,51
$\text{Br}_2(l) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$		$\text{Mn}^{2+}(aq) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$	
$2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(aq)$	-0,49	$\text{MnO}_4^-(aq) + 2\text{H}_2\text{O}(l) + 3e^- \longrightarrow$	+0,59
$\text{Ca}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Ca}(s)$	-2,87	$\text{MnO}_2(s) + 4\text{OH}^-(aq)$	
$\text{Cd}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}(s)$	-0,403	$\text{HNO}_2(aq) + \text{H}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{NO}(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$	+1,00
$\text{Ce}^{4+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ce}^{3+}(aq)$	+1,61	$\text{N}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l) + 4e^- \longrightarrow$	-1,16
$\text{Cl}_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2\text{Cl}^-(aq)$	+1,359	$4\text{OH}^-(aq) + \text{N}_2\text{H}_4(aq)$	
$\text{HClO}(aq) + \text{H}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cl}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$	+1,63	$\text{N}_2(g) + 5\text{H}^+(aq) + 4e^- \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_5^+(aq)$	-0,23
$\text{ClO}^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow$	+0,89	$\text{NO}_2^-(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 3e^- \longrightarrow$	+0,96
$\text{Cl}^-(aq) + 2\text{OH}^-(aq)$		$\text{NO}(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$	
$\text{ClO}_3^-(aq) + 6\text{H}^+(aq) + 5e^- \longrightarrow$	+1,47	$\text{Na}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Na}(s)$	-2,71
$\text{Cl}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$		$\text{Ni}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Ni}(s)$	-0,28
$\text{Co}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Co}(s)$	-0,277	$\text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$	+1,23
$\text{Co}^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Co}^{2+}(aq)$	+1,842	$\text{O}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l) + 4e^- \longrightarrow 4\text{OH}^-(aq)$	+0,40
$\text{Cr}^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow \text{Cr}(s)$	-0,74	$\text{O}_2(g) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(aq)$	+0,68
$\text{Cr}^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cr}^{2+}(aq)$	-0,41	$\text{O}_3(g) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{O}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$	+2,07
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(aq) + 14\text{H}^+(aq) + 6e^- \longrightarrow$	+1,33	$\text{Pb}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}(s)$	-0,126
$2\text{Cr}^{3+}(aq) + 7\text{H}_2\text{O}(l)$		$\text{PbO}_2(s) + \text{HSO}_4^-(aq) + 3\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow$	+1,685
$\text{CrO}_4^{2-}(aq) + 4\text{H}_2\text{O}(l) + 3e^- \longrightarrow$	-0,13	$\text{PbSO}_4(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$	
$\text{Cr}(\text{OH})_3(s) + 5\text{OH}^-(aq)$		$\text{PbSO}_4(s) + \text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}(s) + \text{HSO}_4^-(aq)$	-0,356
$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$	+0,337	$\text{PtCl}_4^{2-}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Pt}(s) + 4\text{Cl}^-(aq)$	+0,73
$\text{Cu}^{2+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cu}^+(aq)$	+0,153	$\text{S}(s) + 2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{S}(g)$	+0,141
$\text{Cu}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$	+0,521	$\text{H}_2\text{SO}_3(aq) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^- \longrightarrow \text{S}(s) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$	+0,45
$\text{CuI}(s) + e^- \longrightarrow \text{Cu}(s) + \text{I}^-(aq)$	-0,185	$\text{HSO}_4^-(aq) + 3\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow$	+0,17
$\text{F}_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2\text{F}^-(aq)$	+2,87	$\text{H}_2\text{SO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$	
$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}(s)$	-0,440	$\text{Sn}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}(s)$	-0,136
$\text{Fe}^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(aq)$	+0,771	$\text{Sn}^{4+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}^{2+}(aq)$	+0,154
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}(aq) + e^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}(aq)$	+0,36	$\text{VO}_2^+(aq) + 2\text{H}^+(aq) + e^- \longrightarrow$	+1,00
$2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g)$	0,000	$\text{VO}^{2+}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$	
$2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$	-0,83	$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}(s)$	-0,763

Fonte: Brown (2005)