



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JOÃO ALBERTO FERREIRA MARQUES JÚNIOR

**CORROSÃO NO AÇO CARBONO: A INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES MEIOS NO
PROCESSO CORROSIVO**

PAU DOS FERROS

2022

JOÃO ALBERTO FERREIRA MARQUES JÚNIOR

**CORROSÃO NO AÇO CARBONO: A INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES MEIOS NO
PROCESSO CORROSIVO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos ferros
– CMPF, como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Josy Eliziane Torres Ramos

PAU DOS FERROS

2022

©Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

FMarq
uesc

Ferreira, João Alberto Ferreira Marques Júnior.
CORROSÃO NO AÇO CARBONO: A INFLUÊNCIA DOS
DIFERENTES MEIOS NO PROCESSO CORROSIVO / João Alberto
Ferreira Marques Júnior Ferreira. - 2022.
52 f.: il.

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

1. Meios corrosivos. 2. Solução de ácido
clorídrico. 3. Água destilada. 4. Esmalte sintético.
5. Inibidor. I. Torres, Josy Eliziane Torres Ramos,
orient. II. Título.

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

JOÃO ALBERTO FERREIRA MARQUES JÚNIOR

**CORROSÃO NO AÇO CARBONO: A INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES MEIOS NO
PROCESSO CORROSIVO**

Defendida em: 07/ 06/ 2022.

BANCA EXAMINADORA

JOSY ELIZIANE
TORRES

RAMOS:65863917334

Assinado de forma digital por

JOSY ELIZIANE TORRES

RAMOS:65863917334

Dados: 2022.06.07 13:52:12 -03'00'

Josy Eliziane Torres Ramos, Prof^a.Dr^a. (UFERSA)
Presidente

ALINE MARA MAIA

BESSA:03230102371

Assinado de forma digital por

ALINE MARA MAIA

BESSA:03230102371

Dados: 2022.06.09 09:56:44 -03'00'

Aline Mara Maia, Prof. Msc. (UFERSA)
Membro Examinador

KYTERIA SABINA LOPES DE
FIGUEREDO:04965705440

Assinado de forma digital por KYTERIA

SABINA LOPES DE

FIGUEREDO:04965705440

Dados: 2022.06.07 22:39:09 -03'00'

Kyteria Sabina Lopes de Figueredo, Prof^a. Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao poder da vida e a fé que nos move e motiva, sem essa força nada seria possível, e os ciclos não se completariam.

Agradeço em especial aos meus pais e irmãs que me dão todo o conforto necessário. Um grande agradecimento a minha namorada que sempre me apoia, motiva e ajuda em todos os momentos. Também a todos os meus familiares próximos por me incentivarem a nunca perder o foco, mesmo com todos os problemas externos.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por acreditar no ensino e ainda incentivar as pesquisas e projetos. Proporcionando para vários estudantes a oportunidade de ter total conhecimento à nível superior e ser preparado para o mercado de trabalho.

A todos os docentes que me proporcionaram um alto conhecimento, não apenas de forma teórica, mas também ensinando a viver em conjunto, tornando a Universidade um ambiente agradável e suscetível para a formações de laços amigáveis, na qual, a discriminação não é tolerável.

Deixo um grande agradecimento a minha orientadora que me conduziu perfeitamente, e a todo tempo estava disposição para tirar minhas dúvidas ou me ajudar da maneira necessária. Também a todos professores que criei laços de amizade, pois me aconselharem em momentos de dúvida e me ensinaram sobre a realidade da vida.

Por fim, aos meus amigos, pelo apoio e puxões de orelha quando necessário.

RESUMO

Uma vasta gama de matérias que fazem parte do cotidiano humano está sujeita a ser danificada pela ação da corrosão, podendo-se destacar os objetos metálicos como o principal constituinte que sofre esse efeito nocivo. A ação da corrosão é um processo natural, que degrada o material quando está inserido em um ambiente favorável para o processo, podendo ser químicos, eletrolítico ou eletroquímico. Esse estudo analisou os processos corrosivos atuantes em placas de aço em 2 diferentes meios favoráveis para a corrosão, água destilada e solução ácida de hipoclorito de sódio a partir do estudo foi possível evidenciar um processo do tipo, eletroquímico e formas de corrosão ocorridos em cada meio: corrosão uniforme, puntiforme (PITE), corrosão alveolar e filiforme. Também foi estudado e aplicado um inibidor, esmalte orgânico sintético a base de etilacetato, butilacetato, nitrocelulose, acetil-tributylcitrate, no qual, tem como função proteger o material metálico da ação corrosiva e assim, foi avaliado a sua efetividade nesses meios corrosivos, evidenciando que o mesmo conseguiu minimizar o efeito corrosivo do material. Para a avaliação foi feito o cálculo da TPC (taxa de penetração da corrosão) de cada amostra, os resultados foram tabelados, os meios neutros foram classificados como nível corrosividade moderada enquanto que o meio ácido possui um nível corrosividade alta, justificando maior desgaste das amostras como também maior perda de massa, dessa maneira foi possível avaliar os efeitos do meio corrosivo frente ao metal utilizado, como também a efetividade do inibidor sintético que teve êxito no processo de inibidor a corrosão protegendo as placas de aço, preservando sua estrutura e acumulando os produtos da corrosão do meio em sua película de protetora, aumentando o valor da massa(g) que evidencia a proteção.

Palavras-chave: Meios corrosivos. Solução de ácido clorídrico. Água destilada. Inibidor, Esmalte sintético.

ABSTRACT

A wide range of materials that are part of human daily life are subject to being damaged by the action of corrosion, and metallic objects can be highlighted as the main constituent that suffers this harmful effect. The action of corrosion is a natural process, which degrades the material when it is placed in a favorable environment for the process, which can be chemical, electrolytic or electrochemical. This study analyzed the corrosive processes acting on steel plates in 2 different favorable environments for corrosion, distilled water and acid sodium hypochlorite solution and, from the study, it was possible to evidence a process of the type, electrochemical and forms of corrosion that occurred in each medium: uniform pitting corrosion (PITE), pitting and thread corrosion. An inhibitor was also studied and applied, a synthetic organic enamel based on ethylacetate, butylacetate, nitrocellulose, acetyl-tributylcitrate, which has the function of protecting the metallic material from the corrosive action and thus, its effectiveness in these corrosive environments was evaluated, evidencing that it managed to minimize the corrosive effect of the material. For the evaluation, the TPC (corrosion penetration rate) of each sample was calculated, the results were tabulated, the neutral mediums were classified as moderate corrosive level while the acid medium has a high corrosivity level, justifying greater wear of the samples as well as greater mass loss, in this way it was possible to evaluate the effects of the corrosive medium against the metal used, as well as the effectiveness of the synthetic inhibitor that had existed in the corrosion inhibitor process protecting the steel plates, preserving their structure and accumulating the corrosion products of the medium in its protective film, increasing the value of the mass(g) that evidences the protection.

KEYWORDS: Corrosive media. Hydrochloric acid solution. Distilled water. inhibitor. Synthetic enamel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do triangulo da corrosão-----	20
Figura 2: Formas de corrosão exemplificada em imagens-----	22
Figura 3(a): Meio Ácido, marcado com a lista preta para o reconhecimento do mesmo-----	28
Figura 3(b): Meio Neutro, sem marcação, diferenciando do meio ácido-----	28
Figura 4: Placa de aço nas dimensões 96,5x10x1 mm, pesando 23g, utilizada para experimentação -----	29
Figura 5: Composição da água destilada água comercial utilizada no experimento proporção mostrando todas suas especificações-----	30
Figura 6: Composição química da água sanitária comercial utilizada na proporção de 1:2 em água destilada-----	30
Figura 7: Esmalte usado como inibidor-----	31
Figura 8: Placa com inibidor-----	31
Figura 9: Relação direta entre o pH e taxa de corrosão do ferro, analisando a quantidade presente de H^+ -----	33
Figura 10: Relação da perda de massa a cada retirada da mostrar no meio Neutro-----	34
Figura 11: Relação da perda de massa a cada retirada da mostrar no meio de ácido-----	34
Figura 12: Corrosão no meio neutro no aço carbonico com 15, 30, 45 e 60 dias sequenciados do experimento-----	36
Figura 13: Corrosão no meio ácido do aço carbonico com 15, 30, 45 e 60 dias sequenciados do experimento-----	36
Figura 14: Ganho de massa do inibidor no meio neutro-----	38
Figura 15: Ganho de massa do inibidor no meio ácido-----	39

Figura 16: Amostras com inibidor no meio neutro com 15,30,45 e 60 dias sequenciados do
experimento-----40

Figura 17: Amostras com inibidor no meio ácido com 15,30,45 e 60 dias sequenciados do
experimento-----40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da Taxa de Corrosão (TPC)-----	19
Tabela 2: Medidas do comprimento, altura e largura, se possui utilização de inibidor e ambiente imerso-----	29
Tabela 3: Comparação do peso inicial com o peso final e quantidade mássica perdida em cada meio-----	33
Tabela 4: Ganho de massa através da aplicação do inibidor-----	45
Tabela 5: Resultado dos cálculos da TPC no meio neutro-----	43
Tabela 6: Resultado dos cálculos da TPC no meio ácido-----	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TPC	Taxa de Penetração da Corrosão
OD	Oxigênio Dissolvido
H ₂ O	Água
Fe _(s)	Ferro
NaClO _(aq)	Hipoclorito de Sódio
HCL	Ácido Clorídrico
Fe ₂ O _{3(s)}	Oxido de Ferro III
Fe(OH) ₂	Hidróxido ferroso
Fe ₂ O ₃ . H ₂ O	Ferro (III) Mono-Hidratado Fe ₂ O ₃ . H ₂ O
PITE	Corrosão Puntiforme
DDP	Diferença de potencial

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1. Geral	16
2.2. Específicos.....	16
3 REVISÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Corrosão:	17
3.2 Taxa de corrosão:.....	18
3.3 Inibidores:	19
3.4 Reação da corrosão no meio ácido:	20
3.5 Reação da corrosão no meio neutro:.....	21
3.6 Triângulo de corrosão:.....	21
3.7 Formas de corrosão:.....	22
3.8 Perdas provenientes da corrosão:	24
3.9 Objeto de estudo: o aço carbono.....	25
3.10 Tipos de inibidor:.....	26
4. METODOLOGIA	28
4.1 Processo experimental:	28
4.2 Material Utilizado:.....	29
4.2 Meios de imersão:.....	31
4.3 Inibidor:	32
4.4 Aplicação do Esmalte como inibidor da corrosão:	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	34
5.1 Coleta dos dados:.....	34
5.2 Análise dos dados:	37
5.3 Analise através das imagens registradas:.....	37

5.4 Coleta de dados dos inibidores	39
5.5 Análise das imagens registradas:	42
5.6 Cálculo da taxa de corrosão:.....	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:	46
6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS:	47
REFERÊNCIAS:.....	49

1 INTRODUÇÃO

Fazendo uma breve alusão histórica, pode-se mencionar que a relação do homem com os metais aconteceu por volta da época pré-histórica. Desde então, devido um contato mais próximo com os metais, acabou por travar uma grande “batalha” contra a ação das forças corrosivas, pois ao decorrer dos anos passou a ser um problema de grande escala e, esse fato, perdura até os dias atuais. O efeito das ações da corrosão é bastante danoso gerando um impacto de grande escala dentro da nossa sociedade, de um modo geral, pois aproximadamente quase todo tipo de construção utiliza metais, seja para fazer parte da estrutura principal ou para ser apenas um complemento para a estrutural central. Esse efeito causa um transtorno nas mais variadas atividades econômicas, e provocam diversos prejuízos materiais incluindo a própria segurança do homem. Esse acontecimento pode ser visualizado nas nossas casas, praticando as atividades da rotina, em geladeira, fogão, portas das residências, ferrolhos das janelas, dentre tantos outros (PEQENGENHARIAJR, 2017).

Diante disso, o processo corrosivo pode colocar em prova a segurança humana, devido a corrosão gerar quebras repentinas, ou seja, de forma inesperada, de partes essenciais para a manutenção da estrutura dos equipamentos, como também pode gerar rompimento de estruturas fixas, imóveis, responsáveis de segurar a laje ou o telhado da casa de morada, por exemplo. A causa desses acidentes podem gerar como resultados mais agravantes a perda de vidas (GENTIL, 2012).

De forma eficaz, a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação eletrolítica, química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2012). Sendo, portanto, uma reação espontânea que está constantemente transformando os materiais metálicos, e fazendo com que a sua durabilidade e desempenho fiquem muito abaixo do esperado, caso comparado com a finalidade que lhe era proposta (FRAUCHES-SANTOS; ALBUQUERQUE; OLIVEIRA; ECHEVARRIA, 2013).

A quantidade de polos econômicos que a corrosão atinge é impressionante, praticamente quase todos os setores têm evidências, como exemplo, as indústrias químicas juntamente com as petrolíferas sofrem muito devido as suas tubulações industriais, responsáveis pelo o transporte dos produtos industriais, na qual, possuem uma taxa grande de corrosão. Também temos as indústrias de transporte aéreo que necessitam sempre da revisão nas suas aeronaves para ter o controle, o transporte ferroviário é um dos principais devido a sua estrutura ser toda de ferro, ou seja, um ambiente próprio para ação corrosiva, temos o transporte rodoviários, os sistemas de telecomunicações e adentrando na área da saúde, temos a odontologia que utilizam a restauração metálicas nos produtos que oxidam, para restaurá-los (PEQENGENHARIAJR, 2017).

Dentre os diversos materiais que podem sofrer a corrosão o aço carbono é o mais usado na indústria. De maneira geral, cerca de 20% do aço produzido destina-se a reposição de partes de equipamentos, peças ou instalações corroídas (VENTURA; NEVES; SILVA, 2021). Diante disto, o estudo sobre a corrosão é um caso de extrema importância na sociedade, pois através de estudos específicos que se torna possível fazer a correta identificação. Posteriormente, procura-se aplicar soluções para que a ação corrosiva seja mínima, não chegando a prejudicar a resistência dos materiais, máquinas ou até mesmo estruturas de sustentação e, conseqüentemente, não seja necessário a troca de equipamentos devido a uma perda de eficiência, uma paralisação de uma máquina na indústria ou chegar ao ponto de perda total pela ação corrosiva, gerando um produto totalmente corroído (VENTURA; NEVES; SILVA, 2021).

Seguindo essa abordagem científica, pode-se observar claramente o quanto a tecnologia pode ser útil, através de simulações, projetos de equipamentos e estudos de novas formas de tecnologias para a minimização deste impacto. Uma maneira para que haja a minimização dos efeitos da corrosão é realizações de estudos dos meios corrosivos, no qual o material utilizado, ou que será usado, está inserido e conseqüentemente, estudar de forma efetiva, ainda em nível de projeto, a sua fabricação, atendendo os requisitos de condições de empregabilidade do material.

Portanto, sabe-se que é de total importância o conhecimento da existência dos mais variados tipos de corrosão em meios adversos, assim como também aplicações de metodologias para fazer o tratamento do material exposto a esse meio. Assim, por fim, a realização de ensaios com materiais distintos e meios adversos tornam-se necessários, pois quanto mais análises forem realizadas experimentalmente, pode-se, então, entender todo o processo para o estudo em si e, conseqüentemente, evitar a propagação do efeito corrosivo.

Vislumbrando a importância desse conhecimento, esse estudo realizou experimento de processos corrosivos para avaliar as condições dos meios perante ao aço carbônico, assim, verificar como o processo é minimizado com o uso de inibidor, como também busca aplicar inibidores de baixo custo, dessa forma tornando uma medida protetiva de mais fácil acesso.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Desenvolver um estudo prático do aço carbono em diferentes meios corrosivos e verificar a utilização de um inibidor orgânico sintético. Aplicando o cálculo da taxa de penetração da corrosão, e a parti dessa análise, avaliar qual meio é mais severo para sua empregabilidade.

2.2. Específicos

Os objetivos específicos são:

- Analisar o comportamento do aço carbono, de forma prática quando inserido em diferentes meios corrosivos (ácido e neutro) e também com o uso de inibidor;
- Definir o triangulo de corrosão, evidenciando material, meio e condições operacionais, para cada sistema estudado;
- Extrair, de forma analítica, a quantidade mássica corroída no metal, através da medição do seu peso, ao longo de 1 trimestre, para posterior cálculo da TPC;
- Verificar quais desses ambientes analisados são mais propícios para a atuação do aço carbono, ou seja, qual meio terá menor poder corrosivo no material, através do cálculo da TPC;
- Propor técnicas preventivas e/ou protetivas para o material ter seu uso prolongado, evidenciando a importância do uso do inibidor corrosivo.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Corrosão:

Começando a partir do conceito básico e no seu sentido mais amplo, a corrosão pode ser definida como uma interação destrutiva de um material com meio em que esteja inserido, na qual ela pode ser por uma ação física, química, eletroquímica ou uma combinação destas. Quando se trata da deterioração do aço, podem acontecer de duas maneiras os processos corrosivos o primeiro é a ação eletroquímica, na qual, se destaca na área da Engenharia Civil pois ataca a armaduras de concreto e o segundo processo é a oxidação direta (OLIVEIRA,2005).

A corrosão das armaduras de aço em presença de umidade ou temperatura ambiente pode ser considerado sempre um processo do tipo corrosão eletroquímica (HELENE, 1993), entretanto, a corrosão eletroquímica ocorre devido a presença de umidade, água ou uma solução aquosa que esteja tendo contado com o material de aço utilizado. Esse tipo de processo não é uniforme perante a estrutura do metal, uma parte da estrutura pode ser considerado quase desprezível, ou seja, sem qualquer tipo de corrosão. Como citou-se a estrutura de concreto, é fundamental mencionar que grande parte dessa corrosão pode ocorrer devido a presença de uma certa umidade ou apenas o contato com a temperatura ambiente (OLIVEIRA,2005).

O processo da corrosão eletroquímica é uma das mais comum que acontece. É um processo espontâneo, possível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito. De maneira mais básica ocorre quando na natureza um metal se encontra na presença de água gerando uma reação que iria oxidar esse material, ou seja, gerar a ferrugem. Já o processo químico acontece de forma mais agressiva, pois ocorre sem a presença de água e sim por ação de um agente químico (geralmente um meio ácido), dando como resultado a ferrugem do material. A corrosão eletrolítica é bem simples, caracteriza-se por haver a presença de uma corrente elétrica externa, responsável por gerar uma reação, ou seja, é uma reação não espontânea, se diferenciando das outras duas (VENTURA; NEVES; SILVA, 2021).

Na oxidação direta os átomos reagem diretamente com o oxigênio, ocorre a formação de uma película uniforme e contínua de óxido de ferro (HELENE, 1993). Portanto, falando de uma forma mais específica ocorre uma grande diferença entre os dois processos, na corrosão eletroquímica ou em meio aquoso, os elétrons tendem a movimentarem-se de forma mais livre dentro da estrutura do aço carbônico, movimentando-se da parte anódica, havendo a geração dos íons, para a parte catódica, responsável pelo consumo dos íons da parte anódica, assim acabando por ser uma solução iônica.

Já na oxidação direta a capa de óxido sobre o metal atua diretamente como condutora de elétrons e de íons. Os seus produtos são totalmente uniformes, na qual pode até barrar o aumento do processo da corrosão devido a umidade (HELENE, 1993).

Segundo a editora IBRAM (2020), se baseando na pesquisa da Nexa Resoures, uma das maiores mineradoras de zinco do mundo, publica: “cerca de 30% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão e os custos correspondem de 1 a 5% do PIB dos países. Exemplificando, o Brasil em 2019 teve um gasto de aproximadamente a 4% de seu PIB, cerca de 290 bilhões de reais, com a manutenção da corrosão”.

A partir da teoria e dos dados expostos, tornam-se as boas técnicas de proteção contra a corrosão possuírem uma grande relevância, pois, , segundo a editora IBRAM (2020), utilizando dados Nexa Resoures, afirma: “com a utilização de técnicas de proteção contra corrosão, a economia poderia representar cerca de 25% do PIB, o que corresponde a R\$ 72 bilhões por ano.”

3.2 Taxa de corrosão:

Taxa de corrosão ou a quantidade mássica perdida pelo material é vista como uma consequência de uma ação química com grande relevância no processo corrosivo. Esta pode ser expressa como taxa de penetração de corrosão (TPC), ou perda da espessura do material por unidade de tempo (CALLISTER, 2012).

A TPC é convenientemente expressa tanto em milésimo da polegada por ano (mpy) como milímetros por ano (mm/yr). As Equações 1 a 3 demonstram como se calcula a taxa de corrosão.

$$TPC = \frac{k.w}{\rho.A.t} \quad (01)$$

$$mmpy = \frac{13,56.W}{\rho.S.t} \quad (02)$$

$$TC = \frac{e_o - e}{d - d1} \quad (03)$$

Onde:

e_o = espessura anterior (mm);

e = espessura final (mm);

d = data da medição da medição da espessura atual;

$d1$ = data da medição da espessura anterior;

W = quanto de peso perdeu após um tempo de exposição t (mg);

t = tempo de exposição (horas);

ρ = massa específica (g/cm^3);

A = área exposta da amostra (cm^2);

S = área exposta da amostra (pol^2);

K = constante dependente do sistema de unidades que foram utilizados (87,6).

Massa específica do aço carbônico é de $7,8 \text{ g/cm}^3$.

A Tabela 1 apresenta a classificação dos níveis da TPC em termos de corrosividade.

Tabela 1: Classificação da Taxa de Corrosão (TPC)

TAXA DE CORROSÃO UNIFORME (MM/ANO)	CORROSIVIDADE
< 0,025	Baixa
0,025 A 0,120	Moderada
0,130 A 0,250	Alta
>0,250	Severa

Fonte: NACE RP-07-75 (2013)

3.3 Inibidores:

Os inibidores de corrosão são substâncias/produtos adicionadas ao processo corrosivo que tem como objetivo retardar ou minimizar a velocidade de reação da corrosão, independente do meio que esteja imerso, seja meio ácido, básico ou neutro. Essa eficiência de proteção oferecida pelos inibidores depende dos metais e também da severidade do meio em que estar imerso (TOTAL CONSTRUÇÃO, 2019).

Portanto, a forma de atuação dos inibidores de corrosão é baseada na geração de uma barreira (seja fina ou espessa) na superfície do material, proporcionando o mecanismo para impedir ou retardar as reações da corrosão, com também pode alterar o meio corrosivo, tornando-o menos agressivo para aquele produto. Sua classificação pode ser: anódicos, catódicos, formadores de filme orgânico, neutralizantes, fase vapor, sequestrantes de oxigênio dissolvido (ROMUALDO, 2012).

Os inibidores anódicos atuam controlando as reações anódicas através da geração de uma película protetora de óxido de ferro, sobre a superfície do material, na qual, inibe a velocidade da corrosão. Como exemplo temos um nitrito de sódio (ROMUALDO, 2012).

Já os inibidores catódicos controlam a corrosão, direcionando a corrosão para o polo mais negativo e assim protegendo o material, como exemplo temos os sulfitos. Os orgânicos fazem a utilização de compostos orgânicos para se tornarem inibidores, sendo um produto bastante estudado e utilizado para evitar a corrosão no concreto armado em meios alcalinos (ROMUALDO, 2012).

A utilização dos inibidores é em diversos segmentos, na indústria petrolífera apresentam grande eficiência anticorrosiva na proteção interna de oleodutos, gasodutos e caldeiras, facilitando a extração do petróleo. Também atuam muito nas metalúrgicas e na indústrias mecânicas, pois utilizam muito do aço carbônico para a fabricação de seus produtos, precisando proteger e inibir ação corrosiva para evitar peças ou uma possível pausa na produção (TOTAL CONSTRUÇÃO, 2019).

3.4 Reação da corrosão no meio ácido:

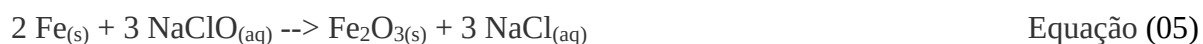
Primeiramente deve ser mencionado os componentes que fazem parte do processo corrosivo, pois são a água {H₂O(aq)}, água sanitária uma solução de hipoclorito de sódio {NaClO(aq)} aço carbônico que é praticamente ferro {Fe(s)}. Dessa forma sabe-se que foi misturado H₂O + NaClO no meio ácido, assim o produto gerado da dissociação do NaClO(aq) é ácido clorídrico (HCl).

O HCl é um hidrácido com um alto potencial de ionização é altamente ácido, sendo assim corrosivo. Estando presente para a formação de diversos produtos industriais até dentro estômago, ajudando no processo digestivo.

A equação da reação do meio ácido é dada pela Equação 04:



Realizando o balanceamento, tem pela Equação 5:



O produto da corrosão Óxido de Ferro III (Fe₂O_{3(s)}) que tem coloração alaranja ou castanho avermelhada.

3.5 Reação da corrosão no meio neutro:

O meio neutro corresponde a utilização de apenas H₂O destilada (Foto 1) dessa forma ocorre oxirredução, na qual, ocorre o fluxo de íons entre as regiões. Os íons Fe²⁺ (Equação 3) têm a tendência de migrar para a região catódica (polo negativo), enquanto os ânions OH⁻ (Equação 4) migram para o polo positivo (região catódica), ocorrendo a formação do hidróxido ferroso (Fe(OH)₂) (Equação 5). Considerando que o aço carbono é praticamente Fe, tem-se as Equações 06 a 08, a seguir, que denotam o fenômeno.

Equação de dissociação do Ferro (Fe):



Equação de dissociação da H₂O:



Equação após a troca de Íons:



Dessa forma, como há presença de oxigênio na água o composto passa a ser o Hidróxido de ferro III (Fe(OH)₃), após perde H₂O transforma-se em óxido de ferro (III) mono-hidratado (Fe₂O₃ . H₂O) (Equação 9).

Equação final após a perda de água:



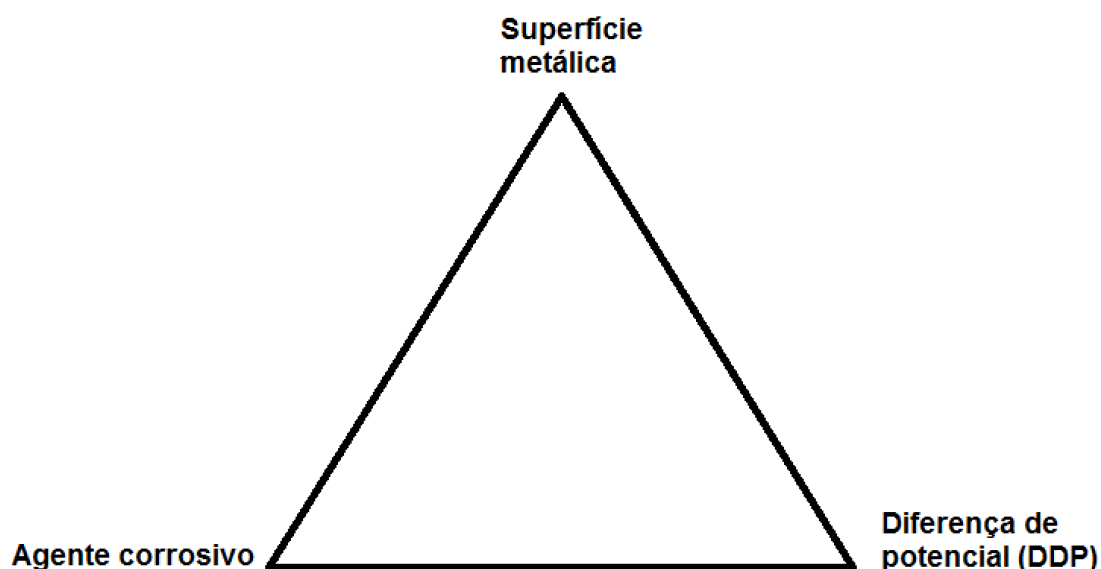
Assim, o produto dessa reação (Fe₂O₃ . H₂O) tem característica de coloração castanho-avermelhada, a ferrugem que conhecemos.

3.6 Triângulo de corrosão:

A ação corrosiva conta com três componentes que são os responsáveis pela formação do triângulo de corrosão que são: agente de corrosão, superfície metálica e diferença de potencial. A

parti disso, analisa-se de forma teórica as medidas que podem ser tomados para impedir ou até mesmo como acelerar o processo corrosivo pois todos os requisitos para a corrosão estão inseridos no triângulo (Figura 1) (GENTIL, 2012).

Figura 1: Representação do triângulo da corrosão.



Fonte: Adaptado de Gentil (2012)

Portanto devido a existência do triângulo da corrosão, é possível identificar, analisar e até mesmo realizar testes laboratoriais, a fim de prever ação corrosiva no material em pesquisa, como também identificar os possíveis inibidores que seriam efetivos contra a corrosão, ou seja, impedindo o desgaste do material em estudo (GENTIL, 2012).

3.7 Formas de corrosão:

Conhecendo os tipos de corrosão e compreendendo seus mecanismos e suas causas, torna-se possível tomar medidas para prevenir a ocorrência desses fenômenos. Por exemplo, podemos alterar a natureza do ambiente, selecionar um material que seja relativamente não reativo e/ou proteger o material contra uma deterioração apreciável (CALLISTER, 1999).

Nesse contexto, a formas que a corrosão se apresenta no aço carbono podem ser: uniformes, por pite e alveolar, podendo ser vista na Figura 2, na qual serão identificadas perante a sua aparência de manifestação no material analisado. A corrosão uniforme atua em toda a superfície, ocorrendo o desgaste ao longo do produto. A corrosão é só apenas um desgaste circular com a profundidade menor

que seu diâmetro, ou seja, é raso e mais aberto. A por pites é bem simples são furos de pequenos tamanhos na estrutura do material. Já os meios corrosivos podem ser a atmosfera, a água doce ou água do mar, o solo e os produtos químicos, acontecendo de diferentes formas o processo corrosivo, como mencionado acima (GENTIL, 2012).

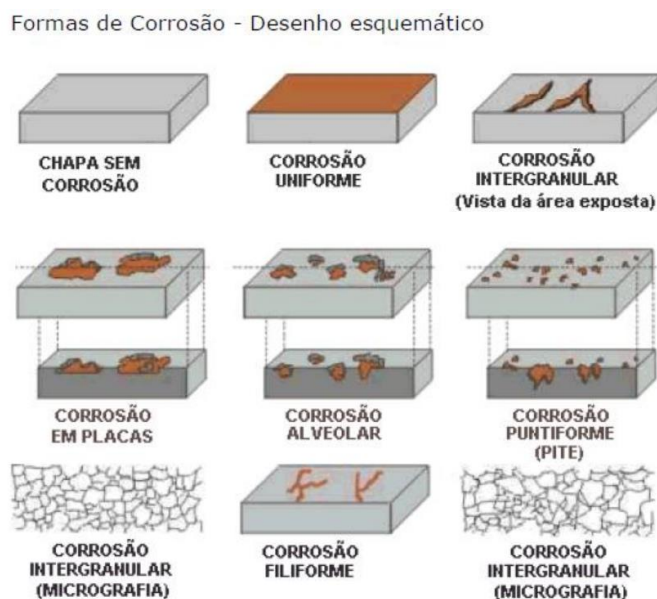
Dentre as formas de corrosão mais comuns em aço carbono, a corrosão por pites ganha destaque. Analisando a Figura 2, a corrosão por pites consiste na formação de cavidades, geralmente, de pequeno diâmetro e maior profundidade, que podem chegar a perfurar toda a espessura do material atacado, com pouca ou nenhuma perda uniforme, por isso, muito destrutiva e perigosa. A causa geral da corrosão por pites é a existência de pequenas áreas no material, altamente anódicas em relação às áreas catódicas adjacentes, formando as chamadas “pilhas passivo-ativa” (SILVEIRA, 2014).

Também ocorre a formação de corrosão por placas consiste em uma corrosão localizada, gerando “placas” com escavações (Figura 2), na qual parte do material é deslocado se desprendendo progressivamente. O nome é dado devido ao seu formato fisiológico sendo igual a uma placa, um retângulo. É mais encontrado em material que possui películas que com o tempo vai ficando mais espessas e se rompe, expondo a área que antes estava protegida (película) ao processo da ferrugem, assim há o desprendido do material devido ao crescimento do produto da corrosão, na qual, fica bastante visível e perceptível (SILVEIRA, 2014).

Mesmo com todas essas formas já expostas acima a corrosão filiforme (Figura 2) acontece com frequência pois se encontram em formas de finos filamentos na estrutura do material, mas não de forma profunda, e se propagam de forma aleatórias em diferentes direções não se ultrapassando, devido a uma repulsão de polos (SILVEIRA, 2014).

Como já mencionado ao se saber as formas e o tipos de corrosão é possível identificar maneiras de contorna ou de se evitar a ferrugem de formas grave evitando gastos, devido diminuir a manutenção como também aumentando a resistência das estruturas na qual os materiais estão presentes.

Figura 2: Formas de corrosão exemplificada em imagens.



Fonte: TREINAEND (2014)

3.8 Perdas provenientes da corrosão:

A quantidade de polos econômicos que a corrosão atinge é impressionante, praticamente quase todos os setores têm evidências, principalmente no setor industrial que possui uma grande taxa de reposição de peças devido a ação da corrosão, o transporte aéreo é bastante afetado necessitando de revisões nas suas aeronaves para poder garantir a segurança. Mesmo sendo pouco utilizado no Brasil o transporte ferroviário é um dos que mais sofre, pois devido a sua estrutura de trilhos ser toda de ferro, ou seja, um ambiente próprio para ação corrosiva (PEQENGENHARIAJR, 2017).

Já mencionado anteriormente dentre os diversos materiais que podem sofrer a corrosão o aço carbono é o mais usado na indústria. De maneira geral, cerca de 20% do aço produzido destina-se a reposição de partes de equipamentos, peças ou instalações corroídas (VENTURA; NEVES; SILVA, 2021). Diante disto, o estudo sobre a corrosão é um caso de extrema importância na sociedade, pois através de estudos específicos que se torna possível fazer a correta identificação.

Na construção o aço já é o maior mercado, perfazendo um total de 30% de vendas ao redor do mundo, um volume equivalente a 300 milhões de toneladas por ano (CIMM, 2015). Com essa importância crescente, torna-se necessária uma boa utilização desse material para que não se desgaste. A aplicação na construção civil é praticamente no concreto armado, na qual, encontra-se na estrutura de sustentação, na qual a corrosão pode gerar riscos e graves problemas para a estrutura.

Pode-se ressaltar um acidente que ocorreu em Fortaleza-CE, no dia 15 de outubro de 2019, estava passando por reparos estruturais e, de forma resumida estava sendo restaurado a estrutura de concreto e aço, a fim de recuperar a resistência que tinha sido comprometida devido a corrosão nos pilares de aço dentro estrutura de concreto necessitando fazer todas as medidas de restauração. Porém o prédio desabou e, segundo o Portal de Notícias G1 (2019), houve : “O Edifício Andrea desabou no dia 15 de outubro de 2019 e deixou nove pessoas mortas. Durante o período de salvamento, que durou 103 horas, sete pessoas foram resgatadas com vida pelos bombeiros. Um laudo da Perícia Forense do Ceará (Pefoce) apontou que a atuação dos engenheiros e do pedreiro foi "determinante" para o desabamento.”

Porém não foram apenas devido a ação da corrosão nas estruturas, também houve um grande negligência por parte dos engenheiros, uma irregularidade no momento de execução da restauração, os mesmos não seguiam as normas de segurança preestabelecidas para aquele tipo de obra, dessa forma, não utilizaram de apoio para reforçar estrutura que estava sendo reparada. O pilar de sustentação era o que estava sendo reparado, ou seja, a estrutura de sustentação estava em desequilíbrio necessitando de apoio naquele setor para equilibrar toda a estrutura e manter o prédio em perfeito estado, em pé e, a junção desse efeito com o efeito corrosivo bastante avançado fez com que houve esse trágico acidente.

3.9 Objeto de estudo: o aço carbono

A busca pela implementação de uma boa utilização do aço carbono é algo bastante recorrente e com muitas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos, principalmente, quando aplicados na área da construção civil, que está avançada em termos tecnológicos, pois, praticamente utiliza esse metal em toda a sua base de construção.

A aplicação na construção civil exemplifica-se no concreto armado, na qual, encontra-se na estrutura de sustentação, porem uma das principais causas de redução da vida útil de estruturas de concreto armado é a corrosão, uma vez que essa causa envolve a perda de material da superfície do aço como resultado de uma ação química, e a redução de área efetiva na seção transversal e, consequentemente, a diminuição da capacidade de suportar cargas (CUNHA; RODRIGUES, 2018).

Conforme Selinger (1992) apud Oliveira, a interação das estruturas de concreto com o meio ambiente se dá em função de suas características físicas: absorção, porosidade, permeabilidade; e químicas, que dependem principalmente da composição do cimento e adições. Estas características permitirão uma maior ou menor capacidade de interação com os agentes agressivos presentes no meio ambiente.

Dal Molin e Andrade (1995) apud Lima, realizaram um grande levantamento de danos em estruturas de concreto armado no Brasil, demonstrando que as obras vêm apresentando uma degradação precoce. E ao processo de corrosão fica a responsabilidade por uma parcela de danos, com índices de ocorrência variando entre 27% e 64%.

Além desses fatores a corrosão apresenta um elevado valor de custo que não está dentro do esperado, na maior parte dos casos, para que ocorra a sua restauração. Possui uma recuperação delicada fazendo necessário mão de obra especializada nesse processo. Levando em conta esses fatores e que a utilização do concreto armado como sistema estrutural é muito utilizado, deve-se sempre prezar por uma boa durabilidade e qualidade, na qual, passam a ser fatores importante na avaliação de um novo projeto bem estruturado, garantindo as condições ideais de trabalho com boa segurança, confiança e um bom funcionamento estrutural (OLIVEIRA,2005).

Portanto, a elaboração deste trabalho teve como principal objetivo observar, de forma experimental, como os meios corrosivos agem no aço carbono, dessa forma ser capaz de facilitar o estudo da corrosão, como também do inibidor e a demonstração dos resultados a partir dos dados coletados.

Como por exemplo no meio estudo, meio aquoso, a corrosão da armadura acontece por um processo eletroquímico com reações de oxidação e redução, formando uma corrente elétrica e uma corrente iônica. Com isso, geram-se duas regiões distintas na superfície do metal: a zona anódica, onde ocorrerá a oxidação, e a zona catódica, que irá reduzir os íons hidrogênio e o oxigênio presentes no eletrólito (ANDRADE, 1992).

Dessa forma, conseguimos implementar os dados experimentais de maneira efetiva, avaliando o estado final do aço carbônico, através do processo da análise da quantificação mássica. Otimizando os estudos do processo corrosivo, como também da ação dos inibidores, prevenindo o material da corrosão. Também foi possível identificar através dos dados coletados o comportamento rápido e efetivo que a corrosão possui em cima do aço carbônico.

3.10 Tipos de inibidor:

Dentre várias formas de combater os efeitos corrosivos destacam-se os inibidores, na qual, é uma substância ou mistura de substâncias que quando estão diretamente presentes, em concentrações adequadas, reduz ou chega a eliminar qualquer efeito da corrosão no material que está sendo protegido. Substâncias com essas características têm sido largamente utilizadas (em processos de decapagem ácida, limpeza química de caldeiras, indústria petrolífera, sistemas de resfriamento, tubos de condensadores, sistemas de geração de vapor, tubulações de água potável, proteção de cobre e

alumínio, etc.) como um dos melhores métodos para proteção contra a corrosão (ROMUALDO, 2012).

A partir disso, é possível classificar os inibidores baseando-se na composição e no comportamento que pode ser tanto no meio inserido ou como se comportar após ser inserido no objeto. Os inibidores podem ser orgânicos ou inorgânicos e em relação ao comportamento serão oxidantes, não oxidantes, catódicos e de adsorção (ROMUALDO, 2012).

- **Inibidores anódicos:** O inibidor atua impedindo ou anulando por completo os efeitos da reação anódica. Surgem quando ocorre a reação do produto da corrosão, que iniciou no momento do contato com o meio, gerando uma película protetora na superfície do objeto que também é insolúvel. Substâncias como hidróxidos, carbonatos, silicatos, boratos e fosfatos terciários de metais alcalinos são exemplos de inibidores anódicos, os mesmos reagem com os íons metálicos produzidos no anodo (ROMUALDO, 2012).
- **Inibidores Catódicos:** Possuem a mesma funcionalidade do de cima atuam inibindo a reações catódicas nos metais. Segundo Total construção (2019), os inibidores catódicos conseguem inibir as reações catódicas por meio de mecanismos que incluem misturas com o oxigênio dissolvido na solução, assim formando elementos insolúveis que se depositam na superfície do metal. Dessa forma, eles envolvem a região do catodo dificultando a difusão do oxigênio e conseqüentemente a condução dos elétrons, assim impedindo o processo corrosivo. Exemplos deste tipo de inibidor são os sulfatos de zinco, magnésio e níquel, pois os íons desses metais formam com as hidroxilas os seus respectivos hidróxidos insolúveis (ROMUALDO, 2012).
- **Inibidores de Adsorção:** Também conhecidas como inibidores mistos, são películas protetoras que tem como capacidade se prender, ficando bem aderida no aço protegendo tanto a parte anódica como na catódica e assim impedindo a ação eletroquímica, ou seja, inibindo a ação corrosiva. Inibidores que são classificados como desse grupo são: moléculas orgânicas com grupos fortemente polares que dão lugar a formação de películas por adsorção, entre elas estão os coloides, sabões de metais pesados e substâncias orgânicas com átomos de oxigênio, nitrogênio ou enxofre, podendo-se citar os aldeídos, aminas, compostos heterocíclicos nitrogenados, ureia e tiouréias substituídas (ROMUALDO, 2012).

4. METODOLOGIA

Essa pesquisa, consiste em observar, de forma teórico-experimental, como os meios corrosivos agem no aço carbono. Para a realização desse estudo, houve uma revisão bibliográfica em artigos, teses, dissertações e livros, na qual, contém os conceitos e tipos de corrosões. Portanto, é de fundamental importância a análise experimental para se obter um maior entendimento e identificação do material trabalhado, assim, será um estudo acerca da corrosão do aço carbônico em diferentes meios.

A coleta de dados foi realizada através de experimentações diretas, sendo feitas todas no mesmo momento, os registros fotográficos foram para a documentação do processo corrosivo por todo o tempo de duração de análise para identificação dos possíveis agentes corrosivos, através dos meios que serão analisados e estarão em contato com o material.

A posteriori, foram aplicados estudos de análises da quantificação mássica da perda do material ao longo do trimestre de observação e assim, será aplicado para a construção gráfica da taxa de penetração da corrosão (TPC) e, após validação dos dados, confrontá-los com a literatura base acerca da corrosão.

Utilizando o mesmo método acima foi catalogado a quantidade mássica do aço carbônico com inibidor corrosivo para, assim, determinar a sua efetividade.

Por fim, foi aplicado um inibidor orgânico, esmalte, que tem como base orgânica etilacetato, butilacetato, nitrocelulose, acetil-tributylcitrate (AVON, 2022), na qual tem como função inibir/retarda o processo corrosivo e, posteriori, a quantificação mássica vai relatar a sua efetividade.

4.1 Processo experimental:

Foram utilizadas 16 amostras de aço carbono, cada amostra foi medida, pesada, lavada e secada, até que não restasse nenhum resíduo que pudesse interferir no experimento. Já nas amostras que continham os inibidores (esmalte orgânico), foram devidamente pintadas sem deixar nenhum espaço descoberto.

Essas amostras foram divididas em grupos de quatro peças de aços carbono, ou seja, 4 grupos de amostras, sendo metade, 2 grupos, revestida pelo inibidor, na qual, ao submergi-los nos meios corrosivos colocavam-se 2 grupos de amostras, 4 peças sem inibidor (1ª grupo) e 4 com inibidor (2ª grupo).

Os grupamentos foram divididos em 2 meios: solução ácida de hipoclorito de sódio e água destilada. As soluções estavam em recipientes, portanto as peças foram imersas. Após a imersão utilizou-se de um filme plástico para fazer a vedação tanto para o meio ácido (Figura 3(a)) como para o neutro (Figura 3(b)), assim, evitando a influência do ar no processo e devidamente marcado para o controle da análise.

Os recipientes foram guardados e a cada 15 dias foram retirados 2 amostras de cada meio, uma sem o inibidor e a outra com o inibidor. Após a retirada, os mesmos eram pesados para análise do processo corrosivo e fotografados para posterior comparação.

Figura 3(a): Meio Ácido, marcado com a lista preta para o reconhecimento do mesmo meio.



Figura 3(b): Meio Neutro, sem marcação, diferenciando do meio ácido.



Fonte: Autoral (2022)

4.2 Material Utilizado:

O material utilizado para esse experimento foi o aço carbono que é um produto siderúrgico obtido por via líquida através da fusão do ferro como componente básico e acrescentado o carbono com um teor em até 2 % resultando em uma liga Ferro-Carbono. Há mais alguns materiais nessa liga, como: manganês, níquel, volfrâmio, fósforo, cromo, enxofre entre outros elementos e alguns resíduos do processo de fabricação (CHIAVERINI, 1982). A tabela 2 apresenta todas as informações de dimensão e uso do inibidor em cada sistema analisado.

Tabela 2: Medidas de comprimento, altura e largura, se possui utilização de inibidor e ambiente imerso.

AMOSTRAS	TAMANHO (MM)	AMBIENTE IMERSO	INIBIDOR
1	96,5x10x1	Solução Ácida	-
2	96,5x10x1	Solução Ácida	-
3	96,5x10x1	Solução Ácida	-
4	96,5x10x1	Solução Ácida	-
5	96,5x10x1	Solução Ácida	x
6	96,5x10x1	Solução Ácida	x
7	96,5x10x1	Solução Ácida	x
8	96,5x10x1	Solução Ácida	x
9	96,5x10x1	Solução Neutra	-
10	96,5x10x1	Solução Neutra	-
11	96,5x10x1	Solução Neutra	-
12	96,5x10x1	Solução Neutra	-
13	96,5x10x1	Solução Neutra	x
14	96,5x10x1	Solução Neutra	x
15	96,5x10x1	Solução Neutra	x
16	96,5x10x1	Solução Neutra	x

Fonte: Autoral (2022)

A fabricação das peças de carbonos teve ajuda de uma máquina de precisão, cortando-as por igual e deixando-as na mesma gramatura, todas com o peso de 23 gramas, nas dimensões de 96,5x10x1 mm (Figura 4). As amostras foram obtidas em comercio local, na qual não seriam mais utilizadas.

Figura 4: Placa de aço, pesando 23g, utilizada para experimentação.



Fonte: Autoral (2022)

4.2 Meios de imersão:

A solução de água destilada foi adquirida em comercio local (Figura 5), pois seria mais prático e diminuía a taxa de erros, caso ele fosse coletado de outra forma. Possui como funcionalidade analisar esse meio em termos corrosivos.

Já a solução de ácido clorídrico foi preparada utilizando água destilada e água sanitária. A partir da observação da composição química de fabricação da água sanitária, através da Figura 6. De acordo com Prime Cirúrgica (2022), uma proporção adequada para que se houvesse um ambiente ácido seria de 1L de água destilada e 500ml de água sanitária, proporcionando um ambiente ácido adequado para o experimento.

Uma ressalva importante é que o cálculo é baseado no P/P do hipoclorito de sódio presente na água sanitária. O peso por peso (P/P) são gramas de soluto adicionados em gramas de solvente, ou seja, expressa a quantidade de soluto em 100 gramas de solução final. Assim, como exemplo, uma solução de ácido acético 4%(p/p) contém 4 gramas de ácido em 100 gramas de solução (DUARTE; BULHOSA, 2022).

Figura 5: Composição da água destilada comercial utilizada no experimento mostrando todas suas especificações.



Figura 6: Composição química da água sanitária comercial utilizada na proporção de 1:2 em água destilada.



Fonte: Autoral (2022)

4.3 Inibidor:

Foi utilizado o inibidor orgânico sintético, esmalte (Figura 7), que possui como base orgânica etilacetato, butilacetato, nitrocelulose, acetil-tributylcitrato (AVON, 2022). A sua utilização foi como inibidor dessa análise experimental é devido ser um composto orgânico de fácil acesso, baixo custo e contem boas características inibidoras devido a sua estrutura orgânica. Enquadra-se como um inibidor de adsorção, exemplificado no capítulo anterior.

4.4 Aplicação do Esmalte como inibidor da corrosão:

A aplicação do inibidor deu-se por toda a peça do aço carbônico, através de um esmalte orgânico sintético de coloração preta (Figura 7), aplicado de forma que a pintura fosse completa, sem deixar nenhuma parte da amostra do aço carbônico exposta ao meio (Figura 8), e favorecendo que o processo para inibir a corrosão fosse obtido com exatidão e assim diminuir a margem de erro.

Figura 7: Esmalte usado como inibidor.



Figura 8: Placa com inibidor.



Fonte: Autoral (2022)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

5.1 Coleta dos dados:

Os dados foram coletados sob as mesmas condições e procedimentos. A cada 15 dias foi retirado uma amostra de cada meio que participava do experimento, sendo mantida em um recipiente plástico até a utilização do secador, realizando a secagem de cada amostra de forma individual. As peças de aço carbônico não foram lavadas após a retirada do meio, pois o intuito foi preservar e mostrar as condições do meio de teste, como também mostrar a ferrugem que ficava acumulada na superfície, mantendo sua cor característica.

Após a secagem completa foi feita a pesagem, análise, captura da imagem e medição da perda de massa(g). Os mesmos procedimentos foram aplicados posteriormente, seguindo até a última amostra ser retirada. Esses dados, durante os 60 dias de experimento, estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação do peso inicial com o peso final e quantidade mássica perdida em cada meio.

AMOSTRAS	MEIOS	PESO INICIAL(G)	PESO FINAL(G)	PERDA DE MASSA(G)
9	Neutro	23,00	22,7820	0,2180
10	Neutro	23,00	22,4325	0,5675
11	Neutro	23,00	22,1580	0,8420
12	Neutro	23,00	21,8980	1,1020
1	Ácido	23,00	22,4890	0,5110
2	Ácido	23,00	22,0900	0,9100
3	Ácido	23,00	21,5890	1,4110
4	Ácido	23,00	21,1590	1,8410

Fonte: Autoral (2022)

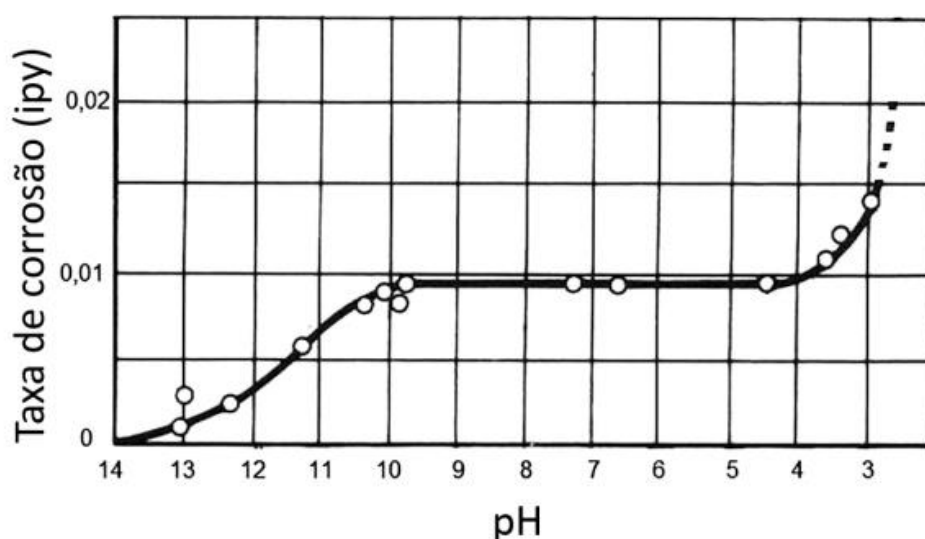
Através da Tabela 3 que representa a perda de massa(g) dos materiais analisados, pode-se identificar a agressividade do meio ácido composto de $\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$ destilada + $\text{NaClO}_{(\text{aq})}$ em comparação

com o meio neutro composto por apenas H_2O destilada. Dessa forma, foi possível identificar o ambiente que gerou maior taxa de corrosão só analisando a perda de massa, ou seja, as amostras foram mais corroídas, perdendo uma quantidade maior de aço carbônico.

Desse modo, a perda de massa maior no meio ácido pode ser exemplificada olhando diretamente o pH do meio, pois quanto mais ácido for o ambiente, ou seja, possui uma quantidade de íons H^+ em maior concentração, maior vai ser a velocidade de oxidação da estrutura de ferro. Portanto, quanto mais ácido for o meio maior será a concentração de H^+ em relação aos íons de OH^- (MAIA; SEGRE; SCATIGNO; STELLA, 2015).

Segundo Gentil (2011) O efeito da acidez na velocidade de corrosão do ferro, em água aerada e em temperatura ambiente, pode ser verificado na Figura 9:

Figura 9: Relação entre o pH e taxa de corrosão no ferro, baseando-se na concentração de H^+ .

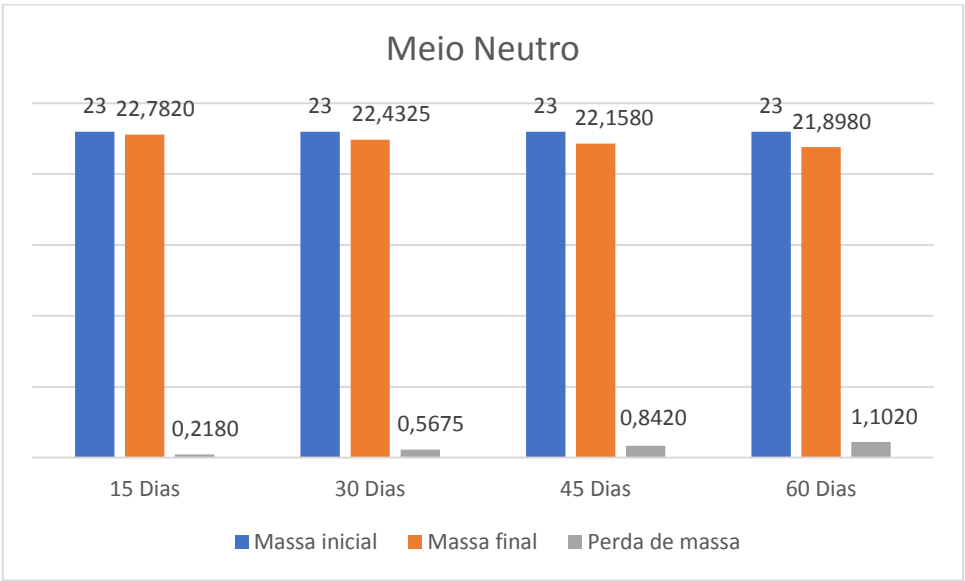


Fonte: GENTIL, 2011

Portanto, a partir da Figura 9 é possível notar que quanto maior a concentração H^+ no meio, ou seja, deixando o ambiente mais ácido a taxa de corrosão aumenta consideravelmente, dessa forma justificando o que ocorreu no experimento de acordo com a Tabela 2, na qual, o meio ácido deve um grau maior de perda de massa, enquanto que no meio neutro a perda de massa foi relativamente menor.

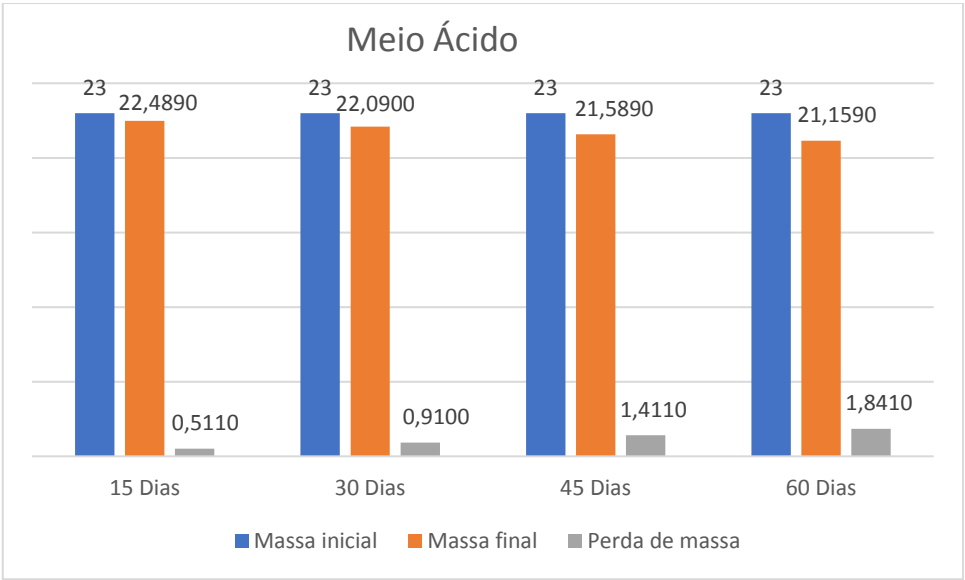
As Figuras 10 e 11 foram geradas a parti dos dados coletados da Tabela 3. Foram feitos em barras com intuito de uma melhor visualização comparando os números de dias com as respectivas perdas de massa.

Figura 10: Relação da perda de massa a cada retirada da mostrar no meio Neutro.



Fonte: Autoral (2022)

Figura 11: Relação da perda de massa a cada retirada da mostrar no meio de ácido.



Fonte Autor (2022)

5.2 Análise dos dados:

Considerando a Figura 11 é visualizada a maior perda de massa do aço carbono, ou seja, no meio ácido. Isso é justificado, pois o hipoclorito de sódio, em concentrações mais elevadas torna-se agressivo para os metais favorecendo o meio para a corrosão. Além disso o pH e a temperatura da água também são grandes fatores para causar a severa corrosão no aço carbono (PELLICCIONE et al, 2012).

Já quando se analisa a Figura 10, que representa meio neutro composto por água destilada, nota-se uma perda da quantidade de massa considerável, mas ficando inferior quando comparado ao meio ácido. A corrosão no meio se dá através dos gases dissolvidos como exemplo, o oxigênio dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio, influenciam diretamente no processo corrosivo, acelerando e aumentando a taxa de corrosão. Assim, como já mencionado, a água destilada possui uma concentração de sais regulares advindos de sua fabricação, na qual, a água destilada se obtém a partir do processo de destilação, onde irá proporcionar uma separação de uma quantidade de sais minerais presentes na água comum (GENTIL, 2012), gerando menor quantidade de variáveis. Dessa forma favorecendo o processo espontâneo da corrosão eletroquímica que é capaz de ocorrer quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, onde ocorrem, simultaneamente, as reações anódicas (oxidação) e catódicas (redução), causando assim, como resultado final, a deterioração do metal (FRAUCHES *et al*, 2012).

5.3 Analise através das imagens registradas:

Seguindo o enredo do experimento mencionado no tópico anterior após ser feitas as análises de perda de massa, foi realizada um análise visual, a olho nu, a fim de identificar os tipos de corrosão presentes naquela amostra como também, verificar se estava ocorrendo a perda de massa que poderia ser através de fissuras nas amostras, resquícios de aço carbônico na solução ou resto de ferrugem no meio, as Figura 12 e 13 exemplificam as amostras tanto do meio neutro como do meio ácido.

Figura 12: Corrosão no meio neutro no aço carbonico com 15, 30, 45 e 60 dias de experimento.



Fonte: Autoral (2022)

Figura 13: Corrosão no meio ácido do aço carbonico com 15, 30, 45 e 60 dias de experimento.



Fonte: Autoral (2022)

A partir das análises das Figura 12 e 13 foi possível identificar a formas de corrosão em cada amostra. Portanto, na Figura 12 foram identificados vários tipos formas de corrosão, com mais predominância a corrosão uniforme, alveolar e por pites.

Já na Figura 13 os tipos de corrosão foram mais expressivos contendo algumas formas presentes na Figura 12, como alveolar e pite com um grau mais severo. Além dessas formas, foi possível verificar na figura 13 uma corrosão filiforme, na qual, é identificada através de filamentos que são formados na estrutura do material, não muito profundos se propagando em diferentes direções.

A partir das imagens fica nítido o efeito da corrosão nos meios, confirmando que, no meio ácido o efeito corrosivo é mais agressivo, ficando bem expressivo através das formas de corrosão que surgiram. Dessa forma, enquanto no meio neutro nota-se a formação de um corrosão mais uniforme sem desgastar pedaços do aço, no meio ácido ocorre formação de filamentos, desgastes do aço nas pontas, no meio, na lateral como também uma grande quantidade de material corrosivo(ferrugem) se aglomerando e degradando aquele local

No contexto geral é possível notar a mudança e a perda de massa da corrosão visualizando na Figuras 12 e 13 de cada amostra, de acordo com o seu tempo de retirada sendo sequenciada da esquerda para a direita 15, 30, 45, 60 dias, e nas ultimas imagens (dia 60, o aço carbônico está totalmente afetado por ferrugem nos dois meios, na qual, no meio neutro apresenta pequenos furos na sua estrutura, aglomerado de ferrugens nas pontas e desgaste, assim no meio ácido praticamente não dá pra ver a amostra, só ferrugem, e também perda de produto nas pontas.

5.4 Coleta de dados dos inibidores

Numa segunda etapa do experimento, foi adicionado um inibidor (Figura 7), na qual, possui o objetivo de inibir o processo corrosivo, assim em vez de perder massa(g) iria manter a massa presente da peça, preservando a estrutura do aço carbônico. Seguindo o mesmo roteiro do experimento anterior, foi-se retirando uma amostra a cada 15 dias. Dessa forma foram obtidos os seguintes dados, apresentados na Tabela 4:

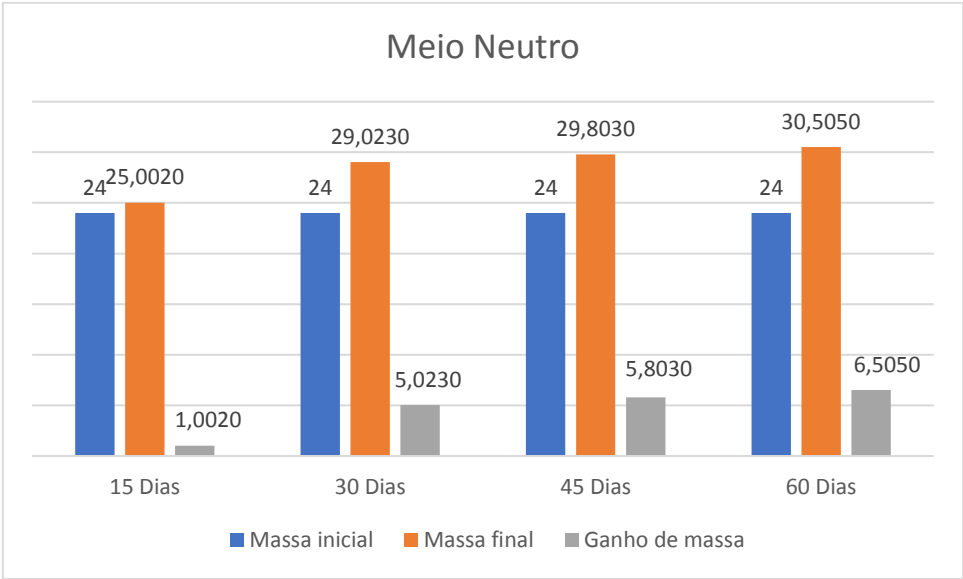
Tabela 4: Ganho de massa através da aplicação do inibidor.

AMOSTRAS	MEIOS	PESO INICIAL COM O ESMALTE(G)	PESO FINAL(G)	GANHO DE MASSA(G)
13	Neutro	24,00	25,0020	1,0020
14	Neutro	24,00	29,0230	5,0230
15	Neutro	24,00	29,8030	5,8030
16	Neutro	24,00	30,5050	6,5050
5	Ácido	24,00	25,3002	1,3002
6	Ácido	24,00	30,0230	6,0230
7	Ácido	24,00	30,5040	6,5040
8	Ácido	24,00	31,1540	7,1540

Fonte: Autoral (2022)

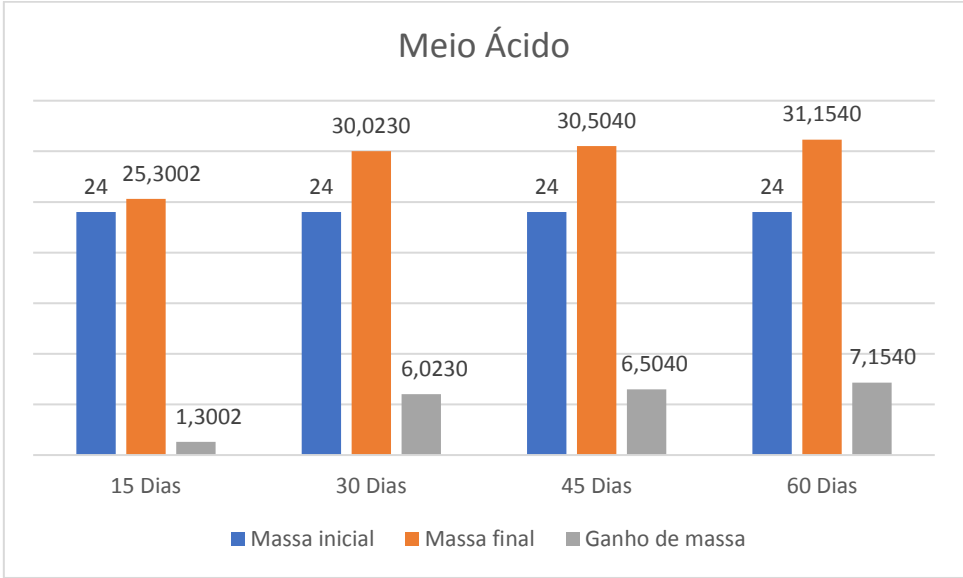
Portanto, como as amostras que continham os inibidores estavam no mesmo recipiente das amostras sem inibidor, suscetíveis ao processo corrosivo (perda de massa), a partir da experimentação, pode-se explicar o motivo dos inibidores aumentarem a quantidade mássica das amostras, assim, como o esmalte é um inibidor por adsorção que funciona como uma película protetora que interfere diretamente no processo eletroquímico impedindo a corrosão as substâncias. Dessa forma o produto dos processos corrosivos na solução é disperso no meio e acabam se ligando a essa película protetora favorecendo o aumento da massa(g). A partir disso foi possível criar a Figura 14 e 15.

Figura 14: Ganho de massa do inibidor no meio neutro.



Fonte: Autoral (2022)

Figura 15: Ganho de massa do inibidor no meio ácido.



Fonte: Autoral (2022)

Dessa forma, comparando as Figuras 14 e 15 é possível notar um número maior de massa ganha no meio ácido, e essa observação ocorre devido as placas estarem inseridas em um meio com mais agressividade para a corrosão, fazendo com que tenha mais produtos advindos da corrosão (ferrugem) no meio, dessa maneira, aumentando a quantidade de substâncias no meio consequentemente uma maior massa se deposita na película do inibidor.

5.5 Análise das imagens registradas:

Após analisar o ganho de massa das amostras realizou-se uma análise visual e também feito a coleta da sua imagem. Dessa maneira, foi possível identificar como os inibidores reagiram a corrosão de cada meio, como também analisar quais danos foram causados na estrutura do aço carbônico, analisando as Figuras 16 e 17.

Figura 16: Amostras com inibidor no meio neutro com 15,30,45 e 60 dias de experimento.



Fonte: Autoral (2022)

Figura 17: Amostras com inibidor no meio ácido com 15, 30, 45 e 60 dias de experimento.



Fonte: Autoral (2022)

A partir dos ensaios visuais (Figuras 16 e 17) foi possível identificar o comportamento em cada meio das amostras, a Figura 16, meio neutro, é possível identificar um acúmulo de massa corrosiva de forma homogênea, se ligando praticamente a quase toda a estrutura da amostra, e com o passar dos dias esse acúmulo se intensificava cada vez mais, deixando a placa mais espessa de resíduos mássicos provenientes da ferrugem presente em solução.

Já na Figura 17, meio ácido, o acúmulo de massa na película era totalmente fora do padrão, não era homogêneo, pelo contrário, foi observado a criação de crostas espessas e com um acúmulo de massa um pouco maior que no meio neutro, devido ao meio ser mais agressivo e a corrosão ser mais forte, fazendo com que houvesse na solução mais produtos corrosivos das outras placas que se encontravam no meio, sem adição de inibidor. No dia 60 de experimento, praticamente todas as crostas formadas foram dissolvidas, ficando um acúmulo mais homogêneo e um pouco mais pesado se comparado com as amostras dos dias anteriores.

Analisando as imagens registradas durante o experimento, fica nítido o efeito da ação do inibidor nos meios, confirmando que o meio ácido o efeito corrosivo é mais agressivo, formando grande acúmulo de massa corrosiva e se juntando a placa de aço. Dessa forma, no meio neutro nota-se a formação de uma massa mais uniforme que se liga a toda a estrutura da amostra.

Portanto fica visível que a ação inibidora foi efetiva durante os 2 meses de experimento (60dias), preservando e conservando toda a estrutura do aço carbônico, mantendo sua massa original e em todo a análise, o esmalte(inibidor), se manteve intacto, não se degradando ou perdendo sua película protetora.

5.6 Cálculo da taxa de corrosão:

Fazendo o uso da Equação 1 para o cálculo da Taxa de Penetração da Corrosão (TPC), temos:

$$TPC = \frac{k.w}{\rho.A.t} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

W = quanto de peso perdeu após um tempo de exposição t (mg);

t = tempo que estar exposto (horas);

ρ = massa específica (g/cm³);

A = área exposta da amostra (cm²);

K = constante dependente do sistema de unidades que foram utilizados (87,6).

Dessa forma pode-se calcular a TPC de cada amostras da Tabela 2 e o tamanho das amostras estão na Tabela 1.

Fazendo o cálculo da amostra do meio neutro, temos a Tabela 5:

Tabela 5: Resultado dos cálculos da TPC no meio neutro.

AMOSTRA	ÁREA (A)	PERDA DE PESO (W)	MASSA ESPECÍFICA (P)	CONSTANTE (K)	TEMPO (T)	RESULTADO DA TPC
9	96,5 cm ²	218 mg	7,8 g/cm ³	87,6	360 horas	0,0705 mm / ano
10	96,5 cm ²	567,5 mg	7,8 g/cm ³	87,6	720 horas	0,0920 mm / ano
11	96,5 cm ²	842 mg	7,8 g/cm ³	87,6	1080 horas	0,0907 mm / ano

12	96,5 cm ²	1102 mg	7,8 g/cm ³	87,6	1440 horas	0,0891 mm / ano
-----------	----------------------	---------	-----------------------	------	------------	-----------------

Fonte: Autoral (2022)

Fazendo o mesmo para o meio ácido, temos Tabela 6:

Tabela 6: Resultado dos cálculos da TPC no meio ácido.

AMOSTRA	ÁREA (A)	PERDA DE PESO (W)	MASSA ESPECÍFICA (P)	CONSTANTE (K)	TEMPO (T)	RESULTADO DA TPC
1	96,5 cm ²	511 mg	7,8 g/cm ³	87,6	360 horas	0,1652 mm / ano
2	96,5 cm ²	910 mg	7,8 g/cm ³	87,6	720 horas	0,1471 mm / ano
3	96,5 cm ²	1411 mg	7,8 g/cm ³	87,6	1080 horas	0,1526 mm / ano
4	96,5 cm ²	1841mg	7,8 g/cm ³	87,6	1440 horas	0,1490 mm / ano

Fonte: Autoral (2022)

Então, a partir das Tabelas 5 e 6 que mostram os resultados da taxa de penetração da corrosão (TPC) é possível classificar o nível de corrosividade, baseando-se pela Tabela 1. Dessa forma, foi identificado que o meio neutro se encontra com uma corrosividade moderada, entre a 0,025 a 0,120 de TPC, já o meio ácido tem uma TPC entre 0,130 a 0,250, assim sendo considerada com uma corrosividade alta.

A partir disso, sugere-se afirmar que o meio de água destilada mais hipoclorito de sódio é bastante agressivo, agredindo bastante as amostras do meio e, justificando a quantidade de perda de massa(g) maior que o meio neutro, na qual, possui um nível de corrosividade moderado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

O estudo experimental sobre o processo corrosivo do aço carbônico foi desenvolvido nos meios, neutro e ácido, avaliando a perda de massa, tipo e formas de corrosão através de imagens fotografadas das amostras como também, a aplicação a formulações da TPC, taxa de penetração de corrosão, assim avaliando a penetração corroída em cada amostra durante 60 dias do experimento. Além disso foi adicionado em cada meio amostras de aço carbono que possuíam inibidores orgânicos sintéticos (esmalte) por toda a sua estrutura com a intenção de preservar a placa de aço e inibir os efeitos da corrosão.

Dessa forma, conseguiu implementar os dados experimentais de maneira factual, avaliando o estado final do aço carbônico, através do processo da análise da quantificação mássica, otimizando os estudos do processo corrosivo, como também da ação dos inibidores, prevenindo o material da corrosão. Também foi possível identificar através dos dados coletados o comportamento rápido e efetivo que a corrosão possui em cima do aço carbônico.

A partir disso, a fundamentação teórica abordada anteriormente pode-se ser comprovada analisando esses dados. Foi possível observar que a ação corrosiva foi mais agressivas no meio que continua mais H^+ , ou seja, no meio ácido sendo confirmado através da Tabela 2 que mostra a quantidade de massa perdida nos meios, na qual, o mesmo apresentar uma perda de massa quase duplicada em relação ao meio neutro, apresentando, de forma visível, maior desgaste das placas de aço através filamentos, um pouco profundos e perda considerável de partes do material, principalmente nas pontas, baixando a sua efetividade.

Já ao analisar o meio neutro a perda de massa foi menor não possuindo de forma, expressiva, um desgaste do material, assim não sendo possível notar uma degradação considerável que venham torna a efetividade menor, também foi detentora de uma forma de corrosão mais controla sendo uniforme por todo o material, na qual, não gerava danos graves apenas formava acúmulos uniformes de produto da corrosão, ferrugem, em toda a sua estrutura.

O cálculo da TPC vem pra mostra a quantidade da penetração da corrosão em mm/ano, analisando de forma anual quanto a corrosão iria penetrar, ou seja, romper a estrutura interna da placa do aço e novamente o meio corrosivo possuiu maior valor de TPC, duplicando-se quando comparado com os cálculos do meio neutro.

Portanto, a aplicação do inibidor que tem como objetivo ser um produto com baixo custo, de fácil aplicação e com efetividade no processo de inibição fazendo com que a corrosão não venha a desgastar o material, ou seja, toda a estrutura do material fica preservado. O processo inibidor ocorre

através da formação de uma película apassivadora na superfície das placas, protegendo-a da iniciação da corrosão e reduzindo os efeitos corrosivos por meio dessa camada protetora foi importante.

Assim foi possível comprovar que os efeitos dos inibidores possuíram uma boa efetividade pois toda a estrutura da amostra de aço carbono ficou preservado, como também ocorreu o acúmulo de produtos corrosivos na película protetora, na qual, realçou a sua efetividade. Portando, devido a isso, foi analisada a quantidade mássica acumulada na camada protetora de cada amostra, a fim de enfatizar o real objetivo do experimento, proteger o aço carbônico com o inibidor sintético orgânico de cor preto(esmalte) de baixo custo. Dessa forma quanto maior a quantidade de acúmulo de produto corrosivo na película maior a agressividade do meio, ou seja, o meio possui uma maior agressividade na ação corrosiva liberando maior quantidade de produto corrosivo, que acabam por se acumular na película gerada pelo inibidor orgânico, ganhando massa e preservando a estrutura da placa de aço.

Ficou comprovado que os efeitos do inibidor foram satisfatórios, pois toda a estrutura e funcionalidade da amostra ficou intacta devido toda a integridade da placa de aço carbônico se manter, como também não perderam efetividade durante o tempo de exposição nos meios, na qual no final nos 60 dias de experimento as amostras que continuam inibidor estavam preservadas e o mesmo se encontrava intacto. Também pode-se afirmar que o meio neutro é bastante corrosivo para as placas, como também a solução de água destilada mais água sanitária (hipoclorito de sódio) torna o meio muito agressivo para o efeito da corrosão do aço carbônico.

Dessa maneira, o inibidor orgânico sintético(esmalte) da cor preta é efetivo para proteção do aço carbônico nesses meios de estudo, podendo vir a se tornar um produto viável para o processo de inibição da corrosão e logicamente economicamente mais barato, pois, como já mencionado, é um produto de fácil acesso, baixo custo e com um manuseio de forma simples tornando possível solucionar as dificuldades do cotidiano rotineiro.

6.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS:

Como a bastante variações de possibilidades de seleções de aços para diversas formas de utilização ou diversos setores diferentes uma boa aplicação desse experimento vai além das considerações finais desse estudo em virtude disso exponho outras linhas de estudo para complementação:

- Avaliar o comportamento de outros modelos de aço com tamanhos, formas e espessuras diferentes, nesses mesmos meios.

- Fazer a utilização de outros meio mais agressivo que tenham uma taxa de corrosão a cima de $>0,250$, na qual, entra em um nível corrosivo severo. Submetendo o inibidor orgânico sintético a meios mais agressivo e assim observar qual seria o seu comportamento e efetividade
- Pode-se utilizar de outros ácidos como o ácido clorídrico (HCL), ácido sulfúrico, como também pode fazer a utilização de água do mar que é bem mais acessível e assim, ir avaliando o comportamento das amostras.

Assim sendo possível chegar em uma junção de estudo mais complexos, elaborando teorias e verificando a qualidade em meios distintos, e dessa forma tornar mais efetivo o estudo que posteriormente poderia vim a ser utilizados no nosso convivo social.

REFERÊNCIAS:

ANDRADE, Carmen. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ARAÚJO, Laysa. **Ácido clorídrico**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/Acido-cloridrico.htm>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

AVON. **Esmalte Avon cor e brilho pro gel 10g**. 2022. Disponível em: <https://www.avon.com.br/esmalte-avon-cor-e-brilho-pro-gel-10g-1202033/p?skuId=194488604>. Acesso em: 24 maio 2022.

CABEÇA, Marcelo; FILGUEIRAS, Samuel; CANTANHEDE, Terezinho. Estudo da taxa de corrosão (TC/TPC) através de ensaio de ultrassom em um tanque de armazenamento de derivados de petróleo: um estudo de caso. **Revista do Ceds**, Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB, n.1, p. 1-20, 2014;

CALLISTER, Willian; RETHWISCH, David. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 8 edições. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CALLISTER, Willian. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 5ª Edição. Editora LTC, 2000

CHEMELLO, Emiliano; GRACE, Mary. **Oxidação da palha de aço com água sanitária**. São Paulo: Ministério da Educação, 2010. Disponível em: <http://projetoeduc.cecierj.edu.br/eja/recurso-multimedia-professor/quimica/novaeja/m3u5/1.oxidacao-da-palha-de-aco.html>. Acesso em: 09 maio 2022.

CHIAVERINI, Vicente. (1982). **Aços e Ferros Fundidos**. São Paulo: ABM–Associação Brasileira de Metais.

CIMM. **Crescimento e vantagens do uso do aço na Construção Civil**. s.d. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6334#.VdTJSflVikp. Acesso em: 22 set. 2021;

CUNHA, Andréa; RO

DRIGUES, Marcelo. **Corrosão em estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Tec-Usu, 2018.

DUARTE, Leonardo; BULHOSA, Maria Carolina. **Cloro Hipoclorito Água Sanitária**. Disponível em: https://ppgqta.furg.br/images/educacao_cientifica/112-folder_hipoclorito_de_sodio.pdf. Acesso em: 24 maio 2022.

FRAUCHES, Cristiane; ALBUQUERQUE, Mariana.; OLIVEIRA, Márcia.; ECHEVARRIA, Aurea. **A Corrosão e Os Agentes Anticorrosivos**. *Revista Virtual Química*. Rio de Janeiro, v. 6, n.2, p. 1-17, 2013;

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011;

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012;

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Guanabara dois, 1982;

HELENE, Paulo. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1993.

IBRAM (ed.). **Processo de corrosão faz com que 30% da produção mundial de ferro e aço seja desperdiçada**. 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/processo-de-corrosao-faz-com-que-30-da-producao-mundial-de-ferro-e-aco-seja-desperdicada/>. Acesso em: 22 set. 2021;

JAMBO, Hermano; FÓFANO, Sócrates. **Corrosão: Fundamentos, monitoração e controle**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2008;

JENNIFER, Rocha. Mundo da Educação. **Corrosão dos metais**: a corrosão dos metais é um processo eletroquímico espontâneo muito presente em nosso cotidiano e que causa grandes prejuízos econômicos. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/corrosao-dos-metais.htm>. Acesso em: 10 maio 2022;

KETTERMANN, Viviane; PEREIRA, Caroline. **As formas de corrosão**. 2017. Disponível em: <https://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>. Acesso em: 19 maio 2022.

LIMA, Maryangela. **Ações do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo. (Ed). Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, Editora: IBRACON, São Paulo, v. 1, 2005, p.713-75

MAIA, Daltamir; SEGRE, Nádia; SCATIGNO, Andreza; STELLA, Mercia. **Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro**. 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_1/11-EEQ-69-13.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

MAINIER, Fernando; SILVA, Rosenir Rita. **As formulações inibidoras de corrosão e o meio ambiente**. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/engevista.v6i3.149>. Acesso em: 23 mar. 2022;

MARQUES, Guilherme; SANTOS, Wilson; SANTOS, Aldo; FERNANDES, Katia. **Corrosão Eletroquímica Utilizando Soluções H₂O Destilada e HCl, nos Aços Estruturais 1020, 1045 e 1060**. Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação. Santos, p. 6-10. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/eu/Downloads/2080-5561-1-PB.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro; MAINIER, Fernando. **Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico**. 2003. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021;

NACE RP 07-75: 2013. **Preparation, installation, analyses, and interpretation of corrosion in oilfield operation**. 2013. p. 19.

OLIVEIRA, Manuela. **Estudo da eficiência dos silanos aplicados em estruturas de concreto armado com corrosão de íons cloreto**. Pernambuco: Escola Politécnica de Pernambuco, 2005.

PELLICCIONE, Andre; GALVÃO, Jorge; MELLO, Luiz; MORAES, Milton; SILVA, Édison. (2012). **Análise de Falhas em Equipamentos de Processo: mecanismos de danos e casos práticos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência

PEQENGENHARIAJR. **A corrosão está mais perto do que você imagina.** 2017. Disponível em: <https://peqengenhariajr.com.br/corrosao-esta-mais-perto-que-voce-imagina/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

PORTAL DE NOTICIA G1. **Dois anos depois, suspeitos de causar desabamento de edifício em Fortaleza ainda não foram denunciados:** nove pessoas morreram e sete foram resgatadas sob os escombros do edifício andrea. segundo ministério público, obra irregular no prédio foi 'determinante' para o desabamento. 2021. Elaborado por Cadu Freitas. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2021/10/15/dois-anos-depois-suspeitos-de-causar-desabamento-de-edificio-em-fortaleza-ainda-nao-foram-denunciados.ghtml>. Acesso em: 20 maio 2022

ROMUALDO, Marcos. **Estudo de inibidores sintéticos de corrosão para o aço carbono 1020 em meios altamente corrosivos.** 2012. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Químico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/6050/1/Marcos%20Vin%C3%ADcius%20dos%20Santos%20Romualdo.pdf>. Acesso em: 23 maio 2022.

SILVEIRA, Gabirel. **Microscopia Óptica e Microscopia Confocal como Técnicas Comparativas para Caracterização de Pites em Cupons de Corrosão.** In: INTERCORR., Fortaleza, 2014;

TOTAL CONSTRUÇÃO. **Inibidores de corrosão – Tipos e principais aplicações.** 2019. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/inibidores-corrosao-tipos-principais-aplicacoes#:~:text=Por%20exemplo%2C%20os%20inibidores%20an%C3%B3dicos,sobre%20a%20superf%C3%ADcie%20de%20metal>. Acesso em: 23 maio 2022.

TREINAEND. **Proteção catódica.** 2014. Disponível em: https://www.treinaend.com.br/material_apoio/01_19_001.pdf. Acessado em 24 de maio de 2022

VENTURA, Matheus; NEVES, Lorrana; SILVA, Marlon. Leitura: Estudo da corrosão do aço carbono em diferentes meios e o tratamento por eletrólise. In: HOLZMANN, Henrique. (Org.) (2021). **Impactos da Tecnologia na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2.** Ponta Grossa: Atena Editora, p. 15-23;