

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JORGE EDSON PINHEIRO DOS SANTOS

**ESTUDO DO USO DA MANGIFERINA COMO INIBIDOR NATURAL DE
CORROSÃO EM MEIO ÁCIDO**

MARACANAÚ/CE
2018

JORGE EDSON PINHEIRO DOS SANTOS

**ESTUDO DO USO DA MANGIFERINA COMO INIBIDOR NATURAL DE
CORROSÃO EM MEIO ÁCIDO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Maracanaú, como requisito para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.
Orientador: Dr. Marcelo Valente Monteiro Parente

MARACANAÚ/CE
2018

ESTUDO DO USO DA MANGIFERINA COMO INIBIDOR NATURAL DE CORROSÃO EM MEIO ÁCIDO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Maracanaú, como requisito para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Defendida em: 16/02/2018

Banca Examinadora:

(Marcelo Valente Monteiro Parente - Orientador)

(Caroline de Goes Sampaio - Membro Interno)

(Rafael Ribeiro Portela - Membro Externo)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e Santos, Jorge Edson Pinheiro dos.
ESTUDO DO USO DA MANGIFERINA COMO INIBIDOR NATURAL DE CORROSÃO / Jorge
Edson Pinheiro dos Santos. - 2018.
66 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus
Maracanaú, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Valente Monteiro Parente.

1. Mangiferina. 2. Corrosão. 3. Inibidor Natural. I. Título.

CDD 620.91

RESUMO

Controlar ou inibir cineticamente o processo corrosivo tem se tornado um grande desafio para a ciência ao longo dos anos. Pode ser visto que, dependendo da aplicação, a utilização de inibidores é um dos melhores métodos de proteção contra a corrosão de materiais metálicos. No entanto, há uma preocupação crescente sobre a toxicidade desses inibidores, que pode afetar tanto os organismos vivos como também contaminar o ambiente. Por apresentar tal malefício os inibidores tóxicos podem ser substituídos por inibidores naturais ou atóxicos, que são obtidos, principalmente, a partir de produtos naturais, tais como extratos de plantas. Neste sentido, o presente trabalho visa estudar o efeito de um composto isolado do resíduo da manga (mangiferina) como inibidor de corrosão, apresentando este um grande potencial antioxidante. E para tal fim, o trabalho conta com o emprego das técnicas eletroquímicas e de perda de massa de aço carbono em uma solução eletrolítica ácida, buscando um comparativo para a comprovação de sua eficiência como inibidor natural frente a um inibidor comercial e tóxico (anilina). Como resultado foi possível observar que a mangiferina, quando comparada com a anilina, apresentou valores de redução de perda de massa, polarização e de impedância similares. Estes resultados demonstraram que sua utilização como inibidor tem um grande potencial, e sendo este natural, e biodegradável, leva seu uso para uma perspectiva ambientalmente correta.

Palavras-chave: Corrosão, Inibidor natural, mangiferina.

ABSTRACT

Controlling or kinetically inhibiting the corrosive process has become a major challenge for science over the years. It can be seen that, depending on the application, the use of inhibitors is one of the best methods of protection against corrosion in metals. However, there is increasing concern about the toxicity of these inhibitors. The toxic effect does not only affect living organisms but also contaminates the environment which, as a result, can generate irreversible problems for the ecosystem. Because such a hex has such a toxic inhibitor it can be replaced by natural or nontoxic inhibitors, which are mainly obtained from natural products such as plant extracts. In this sense, the present work aims to study the effect of a compound isolated from the mango residue (mangiferin) as a corrosion inhibitor, presenting a great antioxidant potential, since it presents a high oxygen absorption capacity due to the presence of zones with hydroxyl radicals. To that end, the work relies on the use of electrochemical and mass loss techniques in an acidic electrolytic solution, seeking a comparison to prove its efficiency and effectiveness as a natural inhibitor against a commercial and toxic inhibitor (aniline). As a result, it was possible to observe that the mangiferin when compared with the aniline, showed similar loss of mass, polarization and impedance reduction values. This results demonstrates that its use as an inhibitor has a great potential, and being this natural, and biodegradable, takes its use to an environmentally correct perspective.

Key words: Corrosion, Natural inhibitor, mangiferin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ciclo dos metais.	15
Figura 02: Diferentes formas de corrosão metálica.	16
Figura 03: Produção Mundial de Aço Bruto no Mundo.	17
Figura 04: Produção de Aço Bruto na América Latina.	17
Figura 05: Mapa de agressividade atmosférica para o Brasil, à luz da norma ISO 9226. . .	18
Figura 06: Diagrama de polarização: ação de inibidor anódico. (a) Ausência de inibidor. .	21
Figura 07: Inibidor orgânico adsorvido nas regiões anódicas.	22
Figura 08: Diagrama de polarização: (a) Sem inibidor; (b) Com inibidor.	23
Figura 09: Diagrama de polarização: ação de inibidor misto.	24
Figura 10: estrutura química da anilina.	27
Figura 11: Formação do Filme pela Anilina sobre o Substrato Metálico.	27
Figura 12: Mangifera indica. (A) Vegetal Adulto. (B) Frutos e sementes.	30
Figura 13: Estrutura química da Mangiferina.	32
Figura 14: fluxograma de extração da mangiferina.	34
Figura 15: Espectro de Infravermelho da Mangiferina.	35
Figura 16: Modelo de Amostra teste.	37
Figura 17: Perda de Massa.	37
Figura 18: Amostra para ensaio eletroquímico.	39
Figura 19: Ensaio de perda de massa para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L ⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300ppm na temperatura ambiente.	40 41
Figura 20: Ensaio de perda de massa para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L ⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300ppm a temperatura ambiente.	42
Figura 21: Monitoramento do potencial de circuito aberto para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L ⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	44
Figura 22: monitoramento do potencial de circuito aberto para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L ⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	44

Figura 23: Diagrama de Bode obtido para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) módulo da impedância versus Frequência e b) - ângulo de fase versus Frequência.	45
Figura 24: Diagrama de Nyquist obtido para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	46
Figura 25: Valores de Resistência a transferência de carga (R _{ct}) e Capacitância (C) obtidos para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) R _{ct} versus concentração de Mangiferina e b) Capacitância versus concentração de Mangiferina.	47
Figura 26: Diagrama de Bode obtido para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) módulo da impedância versus Frequência e b) - ângulo de fase versus Frequência.	48
Figura 27: Diagrama de Nyquist obtido para Aço-Carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de Anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	49
Figura 28: Valores de Resistência a transferência de carga (R _{ct}) e Capacitância (C) obtidos para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) R _{ct} versus concentração de Anilina e b) Capacitância versus concentração de Anilina.	50
Figura 29: Curvas de polarização potenciodinâmica obtidas para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de extrato etanólico de Mangiferina nas concentrações de 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	51
Figura 30: Curvas de polarização potenciodinâmica obtidas para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L ⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.	52
Figura 31: TG e DTG para a Mangiferina.	54
Figura 35: DSC da mangiferina.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ISO - International Organization for Standardization

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

COX – Ciclo-Oxigenase

ICAM - Molécula de Adesão Intracelular

LIAF – Laboratório de Inspeção e Análise de Falhas

LQAMA – Laboratório de Química Analítica e Microbiologia Ambiental

UFC – Universidade Federal do Ceará

CLAE - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

DAD - Detector de arranjo de Diodos

FTIR - Espectrofotômetro de absorção na região do Infravermelho com Transformada de Fourier

PA – Pureza Analítica

NTU – Unidade de Turbidez

PPM – Partículas por Milhões

PCA – Polarização de Circuito Aberto

EIE – Espectrometria de Impedância Eletroquímica

DSC - Calorímetro Diferencial de Varredura

AMEO – Óleo Essencial *Artemisia Mesatlantica*

C – Capacitância

R_{tc} – Resistência à Transferência de Carga

AFM – Microscopia de Força Atômica

ERA - Alcalóides Extraídos de *Retama Monosperma*

TG – Termogravimétrica

DTG – Termogravimétrica Derivada

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Perda de Massa em Grama por Concentração.	42
--	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	14
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. CORROSÃO	15
3.1.1. CORROSÃO QUÍMICA E ELETROQUÍMICA	19
3.2. MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO	20
3.2.1. INIBIDORES DE CORROSÃO	20
3.2.1.1. TIPOS DE INIBIDORES DE CORROSÃO	21
3.2.1.2. INIBIDOR ANÓDICO	21
3.2.1.3. INIBIDOR CATÓDICO	23
3.2.1.4. INIBIDOR MISTO	24
3.2.2. COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO INIBIDORES DE CORROSÃO	25
3.2.3. INTERAÇÃO INIBIDOR - SUPERFÍCIE METÁLICA	25
3.2.4. USO DA ANILINA COMO INIBIDOR ORGÂNICO DE CORROSÃO	26
3.2.5. TOXICIDADE DOS INIBIDORES DE CORROSÃO	27
3.2.6. INIBIDORES NATURAIS OU ATÓXICOS	28
3.3. RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA PRODUÇÃO DE SUCOS NO BRASIL	29
3.4. CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E COMPOSTOS QUÍMICOS PRESENTES NA MANGA (<i>Mangifera indica</i> L.)	30
3.5. MANGIFERINA	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1. MATERIAIS	33
4.1.1. EQUIPAMENTOS E VIDRARIAS	33
4.1.2. REAGENTES	33
4.2. MÉTODOS	33
4.2.1. EXTRAÇÃO DA MANGIFERINA	33
4.3. PREPARO DAS SOLUÇÕES	35
4.3.1. SOLUÇÕES DE MANGIFERINA	35
4.3.2. SOLUÇÕES DE ANILINA	36
4.3.3. TESTE DE SOLUBILIDADE	36
4.4. ENSAIOS DE PERDA DE MASSA	36

4.5.	ENSAIOS ELETROQUÍMICOS	38
4.5.1.	POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO	39
4.5.2.	CURVAS DE POLARIZAÇÃO	39
4.5.3.	ENSAIO DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA	39
4.6.	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DA MANGIFERINA	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1.	TESTE DE SOLUBILIDADE	41
5.2.	ENSAIO DE PERDA DE MASSA	41
5.3.	POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO	43
5.4.	ESPECTROMETRIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA	45
5.4.1.	ENSAIOS PARA A MANGIFERINA	45
5.4.2.	ENSAIOS PARA A ANILINA	48
5.5.	CURVAS DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICAS	51
5.6.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EIE COM A LITERATURA PESQUISADA	53
5.7.	ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICA DA MANGIFERINA	54
6.	CONCLUSÃO	56
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

Controlar ou inibir cineticamente o processo corrosivo tem se tornado um grande desafio para a ciência ao longo dos anos (SOUZA, 2010). Devido a este fato, diversas pesquisas estão sendo direcionadas para compreender as interações entre material e meio, pois, é sabido que o processo corrosivo depende não só do próprio material, mas também das condições em que o mesmo fica exposto (GENTIL, 2013).

No mundo atual, mesmo em meio a grande busca por novos materiais com propriedades distintas, o aço carbono 1010 continua sendo o mais importante, devido às suas boas propriedades mecânicas e seu baixo custo de fabricação (SILVA, 2006). No entanto, a sua utilização se torna limitada devido à sua alta suscetibilidade ao processo corrosivo. Desta forma, se faz necessário o uso de métodos que venham controlar ou inibir este efeito.

Atualmente, as inovações nos processos de controle da corrosão ou degradação dos metais estão associadas ao desenvolvimento de novos materiais, tais como o desenvolvimento de novas ligas que sejam mais resistentes a corrosão e de baixo custo, desenvolvimentos de tintas impermeáveis e inteligentes e desenvolvimento de inibidores de corrosão (DEFLORIAN, 2014).

Pode ser visto que, dependendo da aplicação, a utilização de inibidores é um dos melhores métodos de proteção contra a corrosão em metais (AMIN, 2010; EDDY, 2008). No entanto, há uma preocupação crescente sobre a toxicidade desses inibidores. O efeito tóxico, não afeta somente os organismos vivos, mas também contamina o ambiente que, conseqüentemente, pode gerar problemas irreversíveis ao ecossistema afetado (EDDY, 2008).

Com isso, nota-se a necessidade do uso de inibidores de corrosão naturais, que não agredam o meio ambiente. Inibidores desta classe são obtidos, principalmente, a partir de produtos naturais, tais como extratos de plantas (AVWIRI e IGHO, 2001).

A Mangiferina (2-C-b-D-glicopiranosil-1,3,6,7-tetrahidroxi-xantona) é um composto polifenólico amplamente encontrado em pteridófitas e angiospermas, principalmente nas famílias Gentianaceae e Iridaceae, presentes predominantemente nas folhas e na casca do caule. Em mangueira, mangiferina é um dos constituintes fenólicos em maior concentração, podendo ser detectada nas folhas, casca do caule, fruto e raízes (QURAISHI, 2010).

A Mangiferina apresenta um grande potencial antioxidante, pois apresenta uma capacidade elevada de absorção de radicais oxigênio, devido ao fato de apresentar zonas de

radicais hidroxila. CANUTO (2009) afirma que a capacidade antioxidante da mangiferina é mais potente que a do ácido ascórbico e da vitamina E, sendo os mesmo potentes antioxidantes utilizados na indústria alimentícia e médica.

Neste sentido, o presente trabalho visa estudar o efeito de um composto isolado do resíduo da manga (mangiferina) como inibidor de corrosão, empregando as técnicas eletroquímicas e de perda de massa em uma solução eletrolítica ácida, buscando um comparativo para a comprovação de sua eficiência e eficácia como um inibidor natural frente a um inibidor comercial tóxico (anilina).

2. OBJETIVO GERAL

- Avaliar o efeito da mangiferina como um inibidor natural de corrosão de aço carbono 1010 em meio ácido em comparação a um inibidor comercial.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar, por meio da técnica de perda de massa, a ação anticorrosiva da mangiferina em comparação a anilina em meio ácido de HCl 0,5 mol/L;
- Avaliar através de técnicas eletroquímicas o processo inibitório da mangiferina sobre o aço 1010 em solução de HCl 0,5mol/L;
- Analisar a resposta inibitória frente a corrosão do aço carbono 1010 comprando os inibidores mangiferina e anilina em meio ácido.
- Verificar por meio das curvas de polarização eletroquímicas o mecanismo de inibição da mangiferina em comparação a anilina;
- Avaliar por meio de técnicas termogravimétricas o possível uso da mangiferina em sistemas de caldeira;

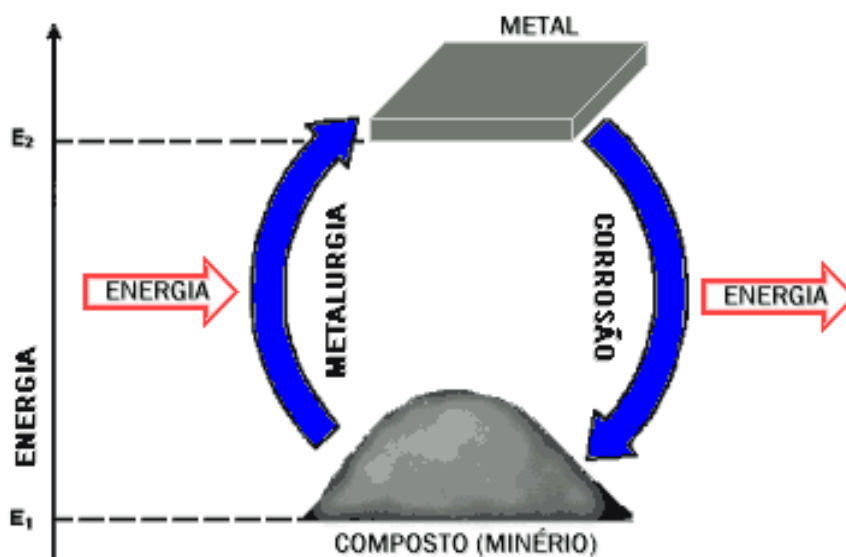
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CORROSÃO

A corrosão, é um dos problemas que afeta a indústria e é colocada como uma severa ameaça para todos os processos que utiliza matéria prima metálica, pois esta pode gerar gastos de cerca de 40 a 45% dentro do orçamento de uma empresa no sentido de manutenção e reparo de equipamento metálicos (AÇO BRASIL, 2016). Portanto, esta é de suma importância para os cientistas e engenheiros. Por isso, muitos artigos são publicados todo ano sobre corrosão e proteção contra corrosão de metais.

A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o meio em que se encontra leva a alterações prejudiciais e indesejáveis, sofridas pelo material, tais como: desgaste, transformações químicas ou modificações estruturais, tornando o material inadequado para o uso (GENTIL, 2013). Estes processos de degradação tem relação com a busca por um estado de menor energia, que seria a formação dos óxidos, que ocorre no retorno da liga a sua forma original no processo chamado de ciclo dos metais, como mostra a figura 04.

Figura 01: Ciclo dos metais.



Fonte: GENTIL, 2013

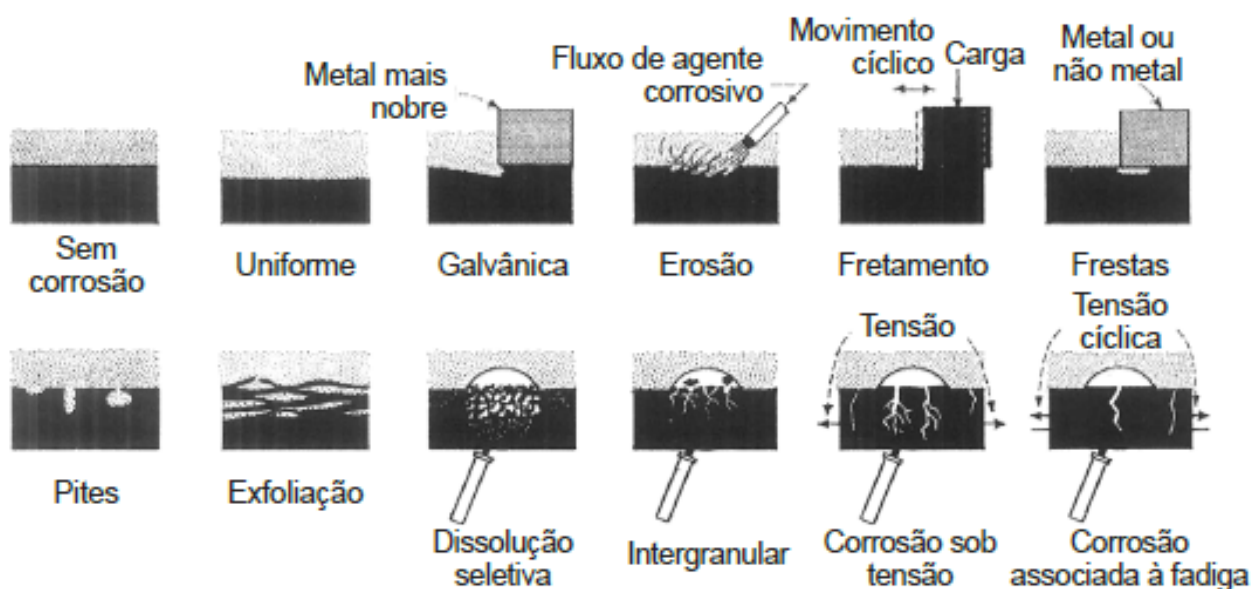
O estudo dos processos de corrosão tem crescido bastante, visto que esse se apresenta em 50% das falhas dos materiais. O conhecimento tanto dos princípios da corrosão quanto da proteção anticorrosiva se apresenta como um desafio no campo da engenharia de

equipamentos e manutenção, pois quanto maior a descoberta de forma de combate a este processo, maior o retorno econômico (PANNONI, 2007).

Dentre os diversos materiais que podem sofrer a corrosão, o aço carbono é o mais usado na indústria de maneira geral, como mostrado na figura 01, e cerca de 20% do aço produzido destina-se à reposição de partes de equipamentos, peças ou instalações corroídas.

As formas de corrosão em aço carbono podem ser: uniforme, galvânica, por frestas e por pite, menos comum, mas não menos importante, essas formas variam com a aparência da corrosão no metal (PANNONI, 2007). São apresentadas as diferentes formas de corrosão na figura 05.

Figura 02: Diferentes formas de corrosão metálica.



Fonte: GENTIL, 2013

Todos estes processos ocorrem quando os materiais estão expostos aos meios corrosivos: a atmosfera, a água, o solo e os produtos químicos, ocorrendo diferentes mecanismos para esses processos. O conhecimento dos mecanismos ajuda no controle das reações envolvidas no processo de corrosão, os principais mecanismos são o químico e o eletroquímico (GENTIL, 2013).

Entre os metais investigados, a maioria das pesquisas são sobre a proteção contra a corrosão do ferro, uma vez que este metal e as suas ligas são a base da indústria moderna gerando uma receita mundial gigantesca e que sua proteção reduziria seu desgaste e uma

economia para a indústria em escala global, visto que tem alta produção em diferentes países do mundo, como mostra a figura 01.

Figura 03: Produção Mundial de Aço Bruto no Mundo.

							Unid.: 10 ³ t
GRUPOS	JAN/JUL		16/15 (%)	JUN 2016	JULHO		16/15 (%)
	2016	2015			2016	2015	
CHINA	466.516	468.864	(0,5)	69.469	66.807	65.117	2,6
U.E. (28)	95.752	101.684	(5,8)	13.743	12.986	13.610	(4,6)
JAPÃO	60.935	61.445	(0,8)	8.770	8.886	8.842	0,5
C.E.I.	59.956	59.317	1,1	8.361	8.772	8.535	2,8
E.U.A.	46.932	47.011	(0,2)	6.824	6.877	7.032	(2,2)
OUTROS	199.502	203.028	(1,7)	29.026	29.368	28.809	1,9
TOTAL	929.593	941.349	(1,2)	136.193	133.696	131.945	1,3

Fonte: AÇO BRASIL, 2016

Mesmo o Brasil não estando entre os cinco principais países de maior produção de aço, este apresenta uma produção significativa de cerca de 17 mil toneladas de aço, sendo o Brasil o maior produtor de aço da América Latina como mostra a figura 02.

Figura 04: Produção de Aço Bruto na América Latina.

Unid.: 10³ t

PAÍSES	JAN/JUL		16/15 (%)	JUN 2016	JULHO		16/15 (%)
	2016	2015			2016	2015	
BRASIL	17.572	19.964	(12,0)	2.541	2.705	2.877	(6,0)
MÉXICO	10.639	10.778	(1,3)	1.668	1.617	1.517	6,6
ARGENTINA	2.412	2.864	(15,8)	372	356	431	(17,4)
COLÔMBIA	745	670	11,2	111	103	112	(8,0)
CHILE	692	636	8,8	93	98	95	3,2
PERU	657	622	5,6	97	106	92	15,2
EQUADOR	342	385	(11,2)	49	49	61	(19,7)
AMÉRICA CENTRAL	249	269	(7,4)	36	36	44	(18,2)
CUBA	139	147	(5,4)	20	20	24	(16,7)
VENEZUELA	126	865	(85,4)	0	10	135	(92,6)
TRINIDAD-TOBAGO	36	293	(87,7)	0	0	51	(100,0)
URUGUAI	35	47	(25,5)	6	5	9	(44,4)
PARAGUAI	20	23	(13,0)	3	3	4	(25,0)
TOTAL	33.664	37.563	(10,4)	4.996	5.108	5.452	(6,3)

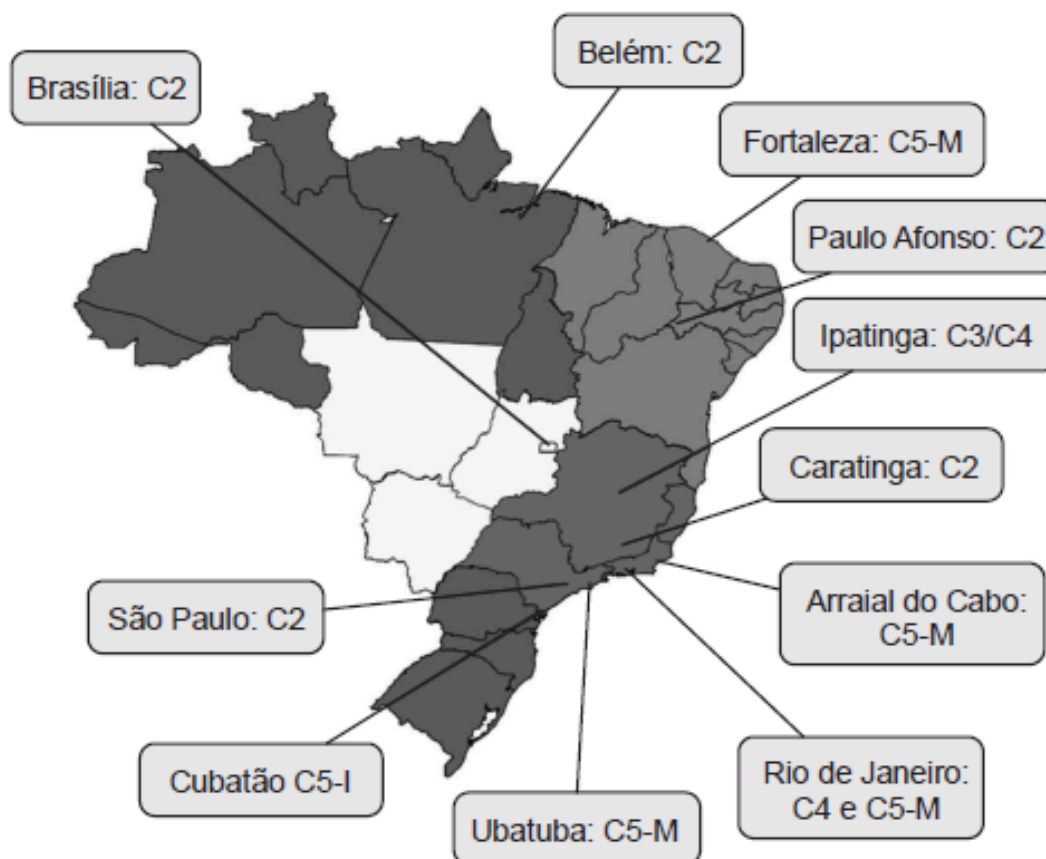
Fonte: AÇO BRASIL, 2016.

Os pesquisadores não só estudam o comportamento de corrosão de metais / ligas em vários ambientes, analisam o mecanismo de corrosão, mas também buscam encontrar os meios eficazes para proteger os materiais. Frente a esses estudos do comportamento da corrosão a norma ISO 12944-2 classificou a agressividade da atmosfera em cinco categorias de corrosividade:

- C1: muito baixa agressividade;
- C2: baixa agressividade;
- C3: média agressividade;
- C4: alta agressividade;
- C5-I: muito alta agressividade industrial;
- C5-M: muito alta agressividade marinha.

Com a utilização desta norma e da norma ISO 9226 foram classificadas diferentes regiões do Brasil quanto à agressividade atmosférica, como mostra a figura 03.

Figura 05: Mapa de agressividade atmosférica para o Brasil, à luz da norma ISO 9226.



Fonte: MANUAL DE PROTEÇÃO A CORROSÃO GERDAU, 2016

No mapa é possível perceber que a região nordeste apresenta em determinados pontos uma agressividade alta o que ressalta o interesse pelos estudos das formas de proteção contra a corrosão para as indústrias situadas nestes estados.

Após a exposição de todas essas problemáticas que podem ser geradas pela corrosão e seu potencial de ação em diferentes regiões do país, temos que lembrar que esse fenômeno é um processo espontâneo, e está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que reduz sua durabilidade.

3.1.1. CORROSÃO QUÍMICA E ELETROQUÍMICA

A corrosão pode ser química ou eletroquímica, isso depende diretamente do mecanismo e dos agentes envolvidos no processo de deterioração do material.

A corrosão química acontece quando há ataque de um agente químico diretamente sobre o material. No mecanismo de corrosão química não se tem a transferência de cargas ou elétrons, não havendo a formação, portanto, de uma corrente elétrica, ocorrendo o ataque de um agente químico diretamente sobre o material. Este processo consiste na reação química entre o meio corrosivo e o material, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a superfície. Esse mecanismo de corrosão, normalmente, ocorre em altas temperaturas, como em fornos, caldeiras e unidades de processo (GENTIL, 2013).

Já a corrosão eletroquímica consiste em um processo espontâneo, passível 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. Tais eletrólitos podem ser: a água do mar, ar atmosférico com umidade, o solo entre outros (MAINIER, 2007).

A transferência dos elétrons da região anódica para a catódica é feita por meio de um condutor metálico, e a difusão de ânions e cátions na solução fecha o circuito elétrico. A intensidade do processo de corrosão é avaliada pelo número de cargas de íons que se descarregam no catodo ou, então, pelo número de elétrons que migram do ânodo para o catodo.

Se é conhecido os meios agressivos e suas características responsáveis pela deterioração dos materiais pode-se desenvolver métodos eficazes para combater a corrosão. O método a ser escolhido depende da natureza do material a ser protegido e do eletrólito (meio corrosivo) (FRAUCHES, 2014). O custo e o tempo necessários para o emprego do método

devem ser considerados. Atualmente, diversas técnicas anticorrosivas têm sido utilizadas, como os revestimentos, a proteção catódica e anódica e o uso de inibidores de corrosão. A maioria das técnicas promove o isolamento do metal de agentes corrosivos, diminuindo assim a possibilidade de haver corrosão.

3.2. MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

As técnicas ou métodos de proteção anticorrosiva, usadas em alguns materiais de extensivo uso industrial envolvem, de maneira geral, a passivação ou a polarização do material, incluem os revestimentos, os inibidores de corrosão, as técnicas de modificação do meio, a proteção catódica e anódica.

Contudo, a utilização de inibidores é um dos melhores métodos de proteção contra a corrosão de metais (EDDY E EBENSO, 2008; EDDY E ODOEMELAM, 2008).

3.2.1. INIBIDORES DE CORROSÃO

Um dos principais métodos adotados pela indústria para prevenir ou minimizar a corrosão é o uso de inibidores de corrosão. Tais inibidores são substâncias orgânicas ou inorgânicas, que quando adicionadas ao meio corrosivo, normalmente em pequenas concentrações quando um metal se encontra em contato com um meio agressivo, onde evitam ou diminuem o desenvolvimento das reações de corrosão. Esses inibidores normalmente são adsorvidos, fazendo um filme muito fino e persistente, o qual leva a uma diminuição na taxa de corrosão, os quais atuam reprimindo reações anódicas (inibidores anódicos), reprimindo reações catódicas (inibidores catódicos) ou ambas (inibidores mistos) (SAFAK, 2012). Os inibidores de corrosão podem atuar tanto no período inicial do tratamento ou no período de propagação, reduzindo a taxa de corrosão (ORMELLESE, 2009).

Os compostos químicos que podem ser utilizados para esta finalidade devem apresentar alguns requisitos relativos à estrutura e comportamento químico. Os compostos inorgânicos, por exemplo, devem ser capazes de oxidar o metal, formando uma camada passiva sobre a sua superfície (EL-ETRE, 2007).

A classificação dos inibidores de corrosão dificilmente segue um padrão e depende exclusivamente de critérios relacionados, essencialmente, ao mecanismo de atuação. Sendo

assim, os inibidores podem ser classificados em: anódicos, catódicos, mistos, oxidantes, não-oxidantes (relacionados à capacidade do inibidor para passivar o metal) ou de adsorção.

3.2.1.1. INIBIDOR ANÓDICO

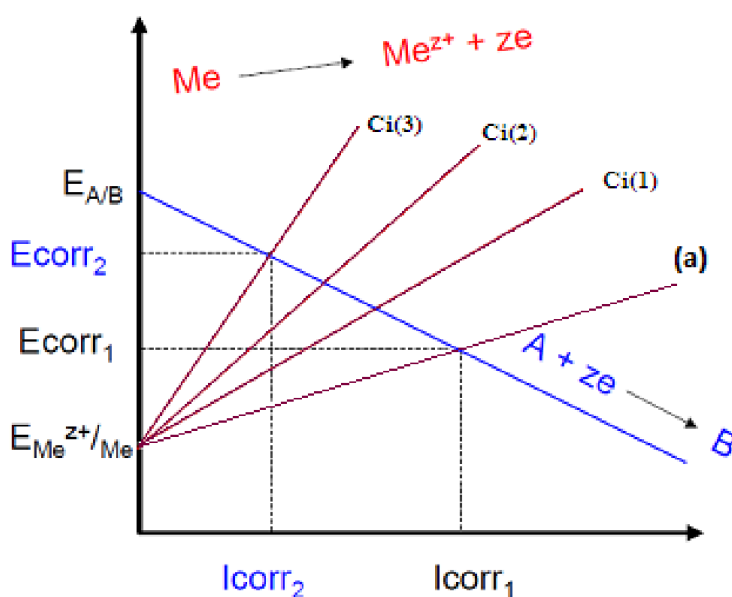
Os inibidores anódicos atuam no ânodo, desacelerando ou até mesmo impedindo as reações que causam a corrosão. Reagem preferencialmente com o produto de corrosão, resultando em um filme aderente e insolúvel na superfície metálica, que propicia a polarização anódica. O produto de corrosão normalmente é formado de hidróxidos, em que o íon OH^- reage com o íon metálico Mn^+ inicialmente formado na oxidação do anodo, como mostrado nas seguintes reações.



Hidróxidos, carbonatos, silicatos, boratos, fosfatos, benzoato de sódio, tungstato de sódio e molibdato de sódio são exemplos de inibidores anódicos.

A Figura 06 representa um diagrama de polarização com e sem a presença do inibidor anódico:

Figura 06: Diagrama de polarização: ação de inibidor anódico com acréscimos de 1 ppm de C1 a C3. (a) Ausência de inibidor.



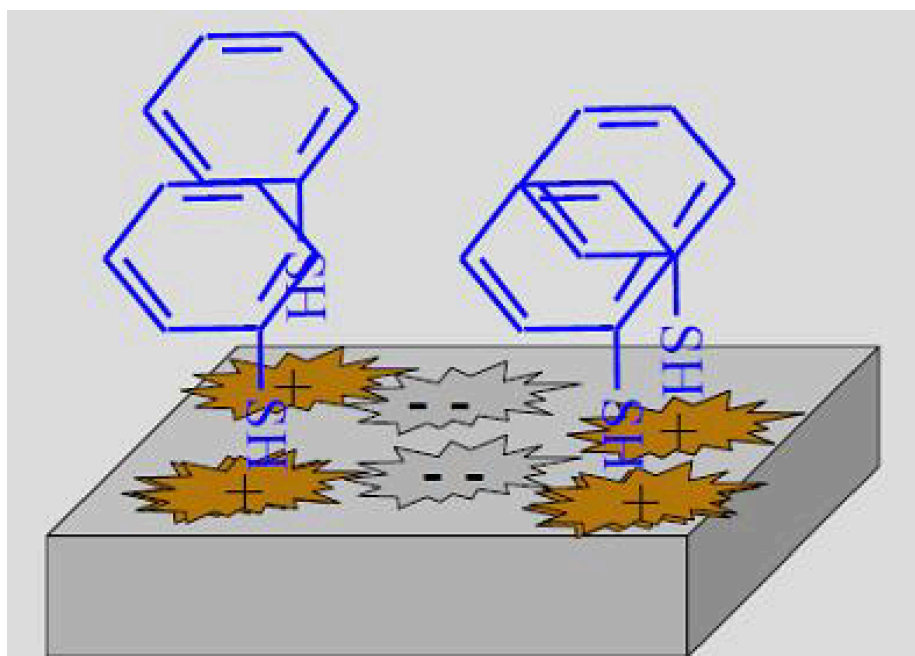
Fonte: KODAMA, 2011.

Em que a concentração de inibidor presente cresce de 1 para 3 ($C_i(3) > C_i(2) > C_i(1)$).

Na figura 06 podemos notar que quanto maior o acréscimo de inibidor, o valor relacionado a corrente de corrosão adquiriu valores mais nobres, o que indica uma diminuição da corrosão efetiva.

O emprego desse tipo de inibidor deve obedecer a quantidade adequada para a proteção, uma vez que existe uma concentração crítica para cada metal/meio. Abaixo da concentração crítica, o produto insolúvel e protetor pode não se formar uniformemente em toda a extensão da superfície a ser protegida, o que pode ocasionar a corrosão por pite (localizada em áreas desprotegidas). Para manter a concentração acima do valor crítico, utiliza-se a agitação e velocidade adequada. Esta concentração depende do meio em estudo, por exemplo, na presença de cloretos e sulfatos em concentrações elevadas, uma maior concentração de cromato (inibidor) é requerida. Pode haver ainda a dependência com temperatura e pH (GENTIL, 2013). Na Figura 07, tem-se o tiofenol (inibidor orgânico) adsorvido nas regiões anódicas.

Figura 07: Inibidor orgânico adsorvido nas regiões anódicas.



Fonte: KODAMA, 2011.

Na figura 07 é possível notar que ao se adsorver sobre a superfície pela atração eletrostática formada pela diferença de carga entre o composto e a superfície metálica, o tiofenol doa elétrons livre do enxofre, ocorrendo assim, a formação de uma interação covalente coordenada.

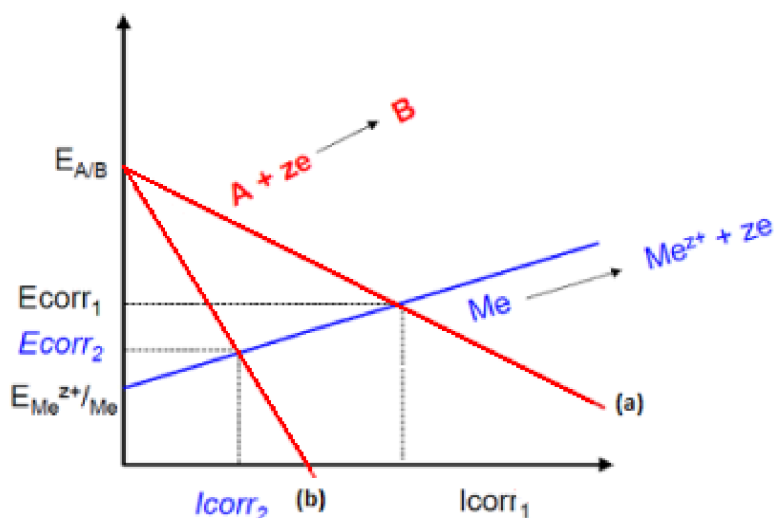
3.2.1.2. INIBIDOR CATÓDICO

Os inibidores catódicos atuam, por sua vez, nas regiões catódicas. Fornecem íons metálicos capazes de reagir com a alcalinidade do meio, produzindo compostos insolúveis que envolvem a área catódica e impedem a difusão do oxigênio e a condução de elétrons, inibindo assim o processo de corrosão. A reação no cátodo, na presença de água contendo bicarbonato de cálcio ou magnésio, ocorre com precipitação de CaCO_3 , que recobre a área catódica e representa a seguir:



A Figura 08 mostra o diagrama de polarização na presença e na ausência do inibidor catódico:

Figura 08: Diagrama de polarização: (a) Sem inibidor; (b) Com inibidor.



Fonte: KODAMA, 2011.

Na figura 08 podemos notar que com a presença do inibidor catódico a corrente de corrosão apresenta valor mais nobre, devido a redução da reação sobre a área catódica. Essa reação necessita de um aporte de elétrons que é doado pelo inibidor.

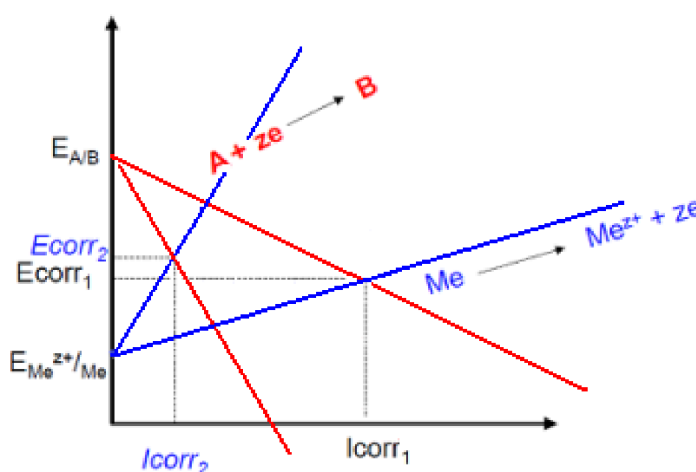
Exemplos de inibidores catódicos são sulfatos de zinco, sulfato de magnésio e sulfato de níquel, além dos polifosfatos, fosfonatos e sais arsênicos. Diferentemente dos inibidores anódicos, a concentração do inibidor catódico não influencia no processo de corrosão, uma vez que a área catódica do metal não sofre dissolução (KODAMA, 2011).

3.2.1.3. INIBIDOR MISTO

Os inibidores mistos (ou inibidores de adsorção), atuam como formadores de películas protetoras nas regiões catódicas e anódicas, interferindo nas reações eletroquímicas. Exemplos são os silicatos e fosfatos que, em meios neutro, com baixo teor de cloretos e na presença de oxigênio, causam passivação do aço (inibidores anódicos) e precipitam nas regiões catódicas (inibidores catódicos) e compostos orgânicos formadores de filmes (inibidores de adsorção) com dois grupos funcionais ou mistura de compostos, alguns agindo como inibidores anódicos, outros como catódicos. Os filmes atuam como películas protetoras, que se formam tanto nas regiões catódicas como anódicas. Fatores como a velocidade do fluido, concentração, tipo de substrato, tempo de contato com a superfície metálica e temperatura do sistema podem alterar a película formada.

As curvas de polarização anódica e catódica obtida com a presença de um inibidor misto é representado na Figura 09:

Figura 09: Diagrama de polarização: ação de inibidor misto.



Fonte: KODAMA, 2011.

Na figura 09, após a formação do filme sobre a estrutura, nota-se que a corrente de corrosão e o potencial de corrosão apresentam valores mais nobres. Como ambos os processos

são impedidos pelo filme formado, deveríamos ter uma taxa de corrosão nula, mas isso não ocorre devido ao fato do filme formado às vezes não ser totalmente uniforme ou o mesmo apresentar uma degradação ao longo do processo corrosivo.

Na indústria é comum recorrer à formulação de mistura de inibidores catódicos e anódico, de modo a obter sinergismo entre eles. Exemplos destas formulações são cromato - ortofosfato, zinco -polifosfato e zinco – polifosfato - cromato, sais de zinco e polifosfatos em água de sistema de resfriamento (RAMANATHAN, 1988).

3.2.2. COMPOSTOS ORGÂNICOS COMO INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores orgânicos são compostos orgânicos contendo insaturações e/ou grupamentos fortemente polares em sua estrutura com a presença de átomos de nitrogênio, oxigênio ou enxofre. Esses inibidores são geralmente indicados para proteger os materiais metálicos em meio ácido; são inibidores de adsorção, os quais se adsorvem sobre as regiões catódicas e/ou anódicas do metal, protegendo-o. Como por exemplo, pode-se citar aminas, aldeídos, mercaptanas, compostos heterocíclicos nitrogenados, compostos contendo enxofre e compostos acetilênicos (HOLLAUER, 2005). A função polar é normalmente considerada o centro de quelação no processo de adsorção química (SOUZA, 2009).

Investigações sobre a influência de compostos orgânicos na corrosão de metais têm sido extensivamente estudadas utilizando-se solventes orgânicos. As informações relatadas na literatura mostram que a maior parte dos efeitos de inibição por compostos orgânicos é devido à adsorção na superfície do metal (VRACAR, 2002).

A influência da estrutura de compostos orgânicos em solução aquosa no processo de adsorção não foi estudada de forma sistemática e os resultados são por vezes contraditórios. Os compostos orgânicos que contêm átomos doadores de elétrons, como o oxigênio, nitrogênio e enxofre tem apresentado comportamento eficaz para a inibição da corrosão do aço.

3.2.3. INTERAÇÃO INIBIDOR - SUPERFÍCIE METÁLICA

O processo de interação entre inibidores e superfícies metálicas mais citado na literatura é a adsorção, vários autores relatam que tal processo de adsorção está discriminado nas reduções tanto nas curvas anódicas como catódicas. Como a interação entre o inibidor e a superfície impede o contato do substrato com o eletrólito, por meio da formação de um filme,

o processo de corrosão é reduzido. Estes inibidores normalmente promovem a formação de um quelato na superfície do metal, ocorrendo à transferência de elétrons do composto orgânico para a superfície metálica, formando uma ligação covalente coordenada durante o processo de adsorção química. Deste modo, o metal atua como um eletrófilo, enquanto os centros nucleófilos da molécula inibidora são normalmente heteroátomos com pares de elétrons disponíveis para serem compartilhados.

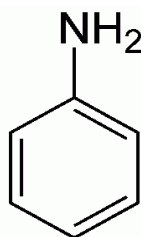
A planaridade das estruturas moleculares e os pares isolados de elétrons nos heteroátomos são características importantes que determinam a adsorção destas moléculas sobre a superfície metálica. Eles podem adsorver sobre a superfície do metal, bloquear os sítios ativos sobre a superfície e, assim, reduzir a taxa de corrosão (ABDUL NABI, 2012).

O aumento da adsorção na superfície metálica tem sido relacionado com o aumento da massa molecular e do momento dipolar dos compostos orgânicos. Essa adsorção tem sido relacionada a presença de ligações insaturadas e heteroátomos nos compostos orgânicos favorecendo a ligação eletrônica com o orbital *d* do metal (DAMBORENEA, 1997). Na adsorção e/ou processos de inibição de corrosão, a orientação das moléculas orgânicas adsorvidas na superfície metálica apresenta, também, grande importância. Foi relatado que a adsorção dos compostos heterocíclicos ocorre através dos anéis aromáticos, por vezes, em paralelo, mas principalmente em relação à superfície de metal (GRANESE, 1992; PLIETH, 1992).

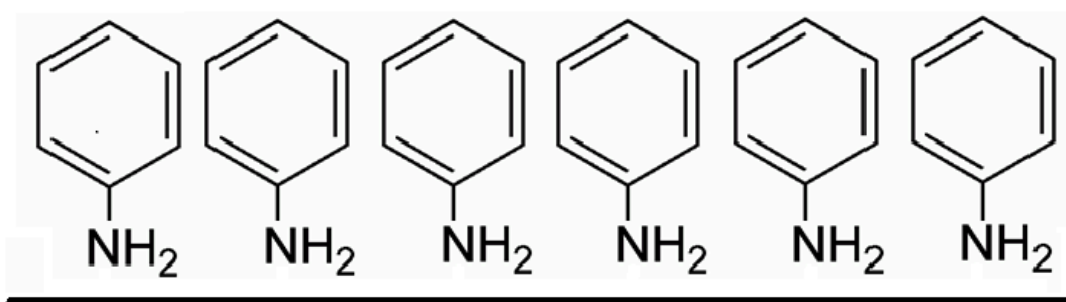
3.2.4. USO DA ANILINA COMO INIBIDOR ORGÂNICO DE CORROSÃO

Shylesha e colaboradores relataram, recentemente, que a anilina tem efeito inibidor eficaz para o aço mole em ambos ácidos, HCl e H₂SO₄, mas ligeiramente melhor em HCl, que está relacionado com a adsorção sinérgica de moléculas do inibidor através do ânion cloreto na superfície metálica. A eficiência de inibição aumentou com a concentração do inibidor acima de 0,2 g mL⁻¹ (VRACAR, 2002).

Anilina é um composto orgânico que apresenta uma amina ligada a um anel aromático, segue figura 10 com a estrutura da anilina.

Figura 10: estrutura química da anilina**Fonte:** SANTOS, 2014.

Vários autores citam na literatura que a presença do nitrogênio na molécula é a responsável pela inibição da corrosão (FRAUCHES-SANTOS, 2014). Os inibidores tipo N ou O tendem, como um todo, serem mais fracamente adsorvidos, de modo que são mais específicos em seu sítio de adsorção, em geral preferindo sítios anódicos (SANTOS, 2014). Um fator que influi na adsorção é o tamanho da molécula: por exemplo, aminas aromáticas se adsorvem deitadas sobre a superfície, com uma fraca força de adsorção do próprio anel benzênico; assim, quanto maior a área ocupada pelos carbonos dos anéis, maior é a inibição. A anilina apresenta uma inibição da ação corrosiva do tipo misto, onde está tanto eleva o potencial de corrosão como a corrente de corrosão para valores mais nobres (BARROS, 2015). Segue figura 11 da formação do filme da anilina.

Figura 11: Formação do Filme pela Anilina sobre o Substrato Metálico.**Fonte:** Autor

3.2.5. TOXICIDADE DOS INIBIDORES DE CORROSÃO

Nas últimas décadas, as pesquisas na área de corrosão estão sendo direcionadas por meio de prioridades de custo, eficiência e aos gastos relacionados às questões ambientais. Devido a recentes recomendações para a eliminação do uso de inibidores inorgânicos tóxicos houve um aumento significativo nos estudos de compostos orgânicos como substitutos por

serem compostos de menor toxicidade. Esse efeito tóxico não afeta apenas os organismos vivos, mas também contamina o ambiente (EDDY E EBENSO, 2008; EDDY E ODOEMELAM, 2008).

Os inibidores mais usados para a proteção contra a corrosão geram subprodutos ou os próprios são tóxicos, como arsênio, chumbo ou cromo. Estes metais ou seus compostos podem causar contaminações em lençóis freáticos, rios, lagos, doenças graves entre outros malefícios.

Devido à toxicidade de alguns inibidores de corrosão, tem sido cada vez maior a pesquisa sobre inibidores de corrosão naturais (AL-SEHAIBANI, 2000). Inibidores desta classe são aqueles que são ecológicos e são obtidos a partir de produtos naturais, tais como extratos de plantas (AVWIRI, 2001).

3.2.6. INIBIDORES NATURAIS OU ATÓXICOS

A maioria dos inibidores de corrosão eficazes são compostos orgânicos que contêm principalmente os átomos de nitrogênio, enxofre, oxigênio, heterocíclicos e elétrons na sua estrutura (CAO, 2007; KHALED, 2008). Apesar do grande número de inibidores orgânicos confirmados como sendo adequados para inibir a corrosão em aço carbono, há sempre a necessidade de desenvolvimento de novos inibidores de corrosão orgânicos. Além disso, a maioria destes inibidores são tóxicos para o meio ambiente.

Muitos estudos estão sendo realizados com produtos naturais como inibidores de corrosão, sendo a busca por este tipo de inibidor de fonte natural e não tóxica muito recomendada (DAHMANI, 2010; POOLA, 2012; AFIA, 2011; RODRIGUEZ-CLEMENTE, 2011; CANG, 2012). Os produtos naturais com grande relevância são os extratos de plantas (EL-ASHRY, 2006; SETHURAN, 2006). Como exemplo, pode ser citado o trabalho realizado pelos autores QURAISHI, M.A., *et al* (2010) que traz resultados positivos da ação inibidora do extrato da casca de *Murraya koenigii* (SAMPAIO, 2015). Esses inibidores verdes, como são nomeados, são materiais de fonte biodegradável e renovável. Consideram-se inibidores de corrosão verdes os compostos orgânicos naturais que são sintetizados ou extraídos de ervas aromáticas, especiarias ou plantas medicinais. A maioria dos inibidores de corrosão verdes são obtidos a partir de extratos de plantas com etanol, metanol ou formaldeído (EL-ETRE,

2003). Exemplos de inibidores de corrosão verdes são: ácido ascórbico, ácido succínico, triptamina, cafeína e outros extratos de produtos naturais (FERREIRA, 2004; RAJA, 2008).

Recentemente, vários estudos têm sido realizados sobre a inibição da corrosão de metais por extrato de planta (EL-ASHRY et al, 2006;. SETHURAN, 2006), os óleos essenciais (BOUYANZER et al, 2007; FASKA et al, 2007) ou princípio ativo (CHAIEB et al, 2005; FASKA et al, 2008). Vem sendo relatado na literatura que o óleo Pennyroyal (BOUYANZER et al, 2006a.), têm sido encontrados como sendo inibidores muito eficazes de corrosão para o aço em meio ácido.

3.3. RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA PRODUÇÃO DE SUCOS NO BRASIL

Como alguns subprodutos de plantas apresentam propriedades de inibição da corrosão e como o Brasil apresenta uma diversidade de produtos e uma grande variedade de frutas com sabores exóticos e bastante agradáveis e teve um crescimento expressivo no comércio de suco de frutas. Dentre as categorias, a de sucos prontos para beber é a que mais cresce no setor de bebidas não alcoólicas em 2004, registrou alta de 15,6% em volume e 20,9% em valor (FOLHAONLINE, 2005).

Dentre os diversos produtos, o Mercado da Manga atualmente no Brasil ocupa a 7ª posição de maior produtor de manga do mundo, estando atrás da Índia, China, Tailândia, Indonésia, Paquistão e México (FAO, 2013). De acordo com VITTI (2009), de 1995 a 2005, o Brasil aumentou sua produção em 120%, crescimento bem acima da média mundial, que foi de 35%. Esse salto é decorrente do clima e solo propícios, da expansão da área cultivada e da utilização de tecnologia de ponta. No setor de exportação o Brasil ocupa o 4º lugar, atrás apenas da Índia, México e Holanda (FAO, 2013).

VITTI (2009) destaca que de 1995 a 2005, a receita com exportações da fruta brasileira aumentou 257%, o que é resultado dos projetos de irrigação do Vale do Submédio do São Francisco, que são voltados para o mercado externo. No País, o estado que possui a maior área colhida de manga é São Paulo, mas é na região Nordeste que estão os mais modernos sistemas de cultivo dessa fruta, principalmente no Vale do Submédio do São Francisco.

Percebe-se que desde o ano 2000, a participação da Região cresceu nas exportações do País, tendo uma queda de 2008 a 2010 (pós-crise), voltando a crescer no ano de 2011 e

alcança o melhor resultado dos últimos 16 anos em 2012, tornando-se a fruta que mais gerou receita de exportação para o Brasil, superando outras frutas como uva de mesa e melão (ALICEWEB, 2013).

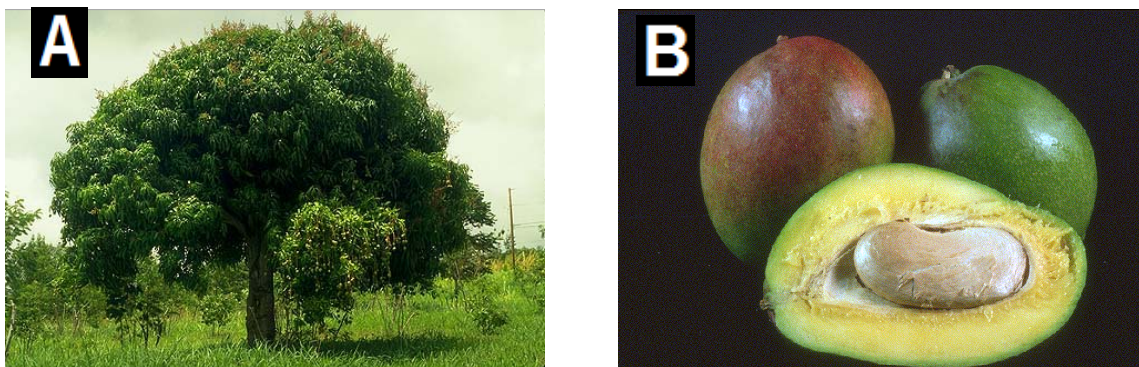
Porém, os resíduos da fabricação do suco de manga gera o equivalente a 60% de subprodutos (casca e caroço) sendo praticamente inviável seu uso na alimentação de ruminantes na forma in natura, devido à resistência do endocarpo (COUTO FILHO et. Al., 2007; AZEVEDO et al., 2011).

O coproduto de manga é gerado em curto intervalo de tempo no ano. Segundo informações de uma fábrica de suco da cidade de Ubá, em Minas Gerais, entre o período de 15 de novembro de 2005 a 15 de janeiro de 2006, foram gerados aproximadamente 600 t de coprodutos.

3.4. CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E COMPOSTOS QUÍMICOS PRESENTES NA MANGA (*Mangifera indica* L.)

A *Mangifera indica* L., popularmente conhecida como Mangueira (Figura 12), pertence à família Anacardiaceae e possui origens na Ásia meridional, onde é cultivada há mais de 4000 anos (SIMÃO, 1998). Foi trazida para o Brasil pelos portugueses, que a introduziram primeiro na Bahia, onde se generalizou rapidamente (GOMES, 1973). A *M. indica* ocorre em todo o país, menos nas regiões do extremo sul, ou de grandes altitudes, e, de um modo geral, prospera em todas as regiões equatoriais, tropicais, subtropicais, não tolerando assim excesso de frio. Estudos feitos em Porto Rico identificaram alguns componentes desta fruta responsáveis pelo seu aroma, dentre eles: alcoóis, aldeídos, cetonas e terpenos (MARANCA, 1983).

Figura 12: *Mangifera indica*. (A) Vegetal Adulto. (B) Frutos e semente.



Fonte: CORNEL, 2006.

A manga é uma das mais importantes frutas tropicais e sua história é descrita nos mais antigos sânscritos da mitologia Hindu; acredita-se que a mangueira é cultivada há mais de quatro mil anos (MUKHERJEE *et al.*, 2007). É provável que o cultivo da mangueira tenha se iniciado na Índia, onde mais de mil variedades já foram encontradas, resultantes de seleções dentro de populações de cruzamento ao acaso (PINTO *et al.*, 2004).

A manga, fruto da *M. indica* L. é fonte de caroteno (precursor da vitamina A), e a fumaça de suas folhas queimadas, segundo a literatura, pode atuar contra soluços e afecções da garganta (MANICA, 1981). Segundo Panizza, as partes mais usadas desta planta com fins terapêuticos são as folhas, frutos e cascas dos ramos, tendo indicação para afecções pulmonares, gengivas inflamadas e úlceras de decúbito (PANIZZA, 1997) .

Um dos grandes obstáculos à comercialização da manga *in natura*, é o fato de ser um fruto altamente perecível, susceptível a doenças e mudanças bruscas de temperatura. (LIZADA, 1993). Além disso, a manga é um fruto sazonal, sendo seu período de safra curto (novembro a janeiro) e coincidente com as safras de outras frutas, como o abacaxi e o pêssego. Com isso, há uma grande oferta de frutas no período, o que gera uma forte competição no mercado (PELEGRINE, 1999).

A mangiferina é um componente majoritário de *M. Indica* (manga) que tem mostrado efeito antioxidante e neuroprotetor em modelo de dano neuronal e glial. Estudos sugerem que mangiferina é capaz de limitar a formação de radicais livres e a produção de prostaglandinas pela redução da síntese de COX-2 em células da micróglia (RIVERA, 2006). Também, a mangiferina inibe a atividade quimiotática de neutrófilos mediada por molécula de adesão intracelular (ICAM-1), sugerindo que seu possível efeito anti-inflamatório seja mais amplo que uma possível redução da síntese de prostaglandinas. A sensibilização dos nociceptores pelas prostaglandinas é um fator preponderante para a instalação da hiperalgesia inflamatória, as quais agem diretamente nos nociceptores (RIVERA, 2006).

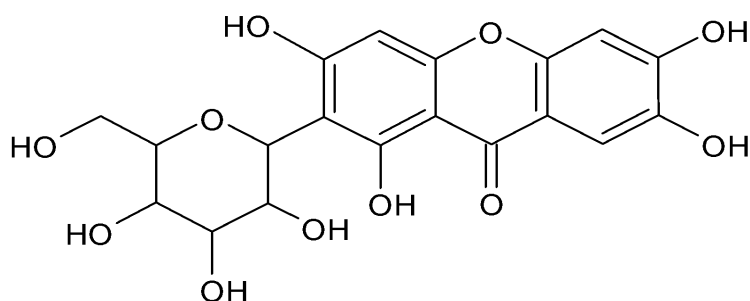
A investigação fitoquímica de extratos obtidos das cascas desta árvore levou ao isolamento de vários constituintes fenólicos, entre os quais estão o ácido gálico, (+)-catequina, ácido benzoico, quercetina e mangiferina (NÚNES-SELLES *et al.*, 2002).

3.5. MANGIFERINA

A Mangiferina (2-C-b-D-glicopiranosil-1,3,6,7-tetrahidroxi-xantona) é um composto polifenólico amplamente encontrado em pteridófitas e angiospermas, principalmente nas

famílias Gentianaceae e Iridaceae. Barreto *et al.* (2008) investigaram a composição química de diferentes partes da mangueira, consideradas subprodutos da cadeia produtiva, as quais foram obtidas de 16 variedades cultivadas no Brasil: Amrapali, Coité, Fafá, Haden, Itamaraká, Keit, Kent, Mallika, Momiká, Primavera, Rosa, Tommy Atkins, Van Dyke, Embrapa 141-roxa (cultivar híbrida Amrapali x Tommy Atkins), Embrapa 142-alfa (cultivar híbrida Mallika x Van Dyke). Entre os compostos fenólicos, a mangiferina foi o principal constituinte da casca do caule e das folhas jovens, o segundo maior componente nas folhas velhas, e o terceiro componente mais abundante da casca do fruto e da semente. Segue a estrutura da Mangiferina na figura 13.

Figura 13: Estrutura química da Mangiferina



Fonte: SAMPAIO, 2015.

Os maiores teores de mangiferina foram quantificados em folhas jovens do cultivar Coité (172 g/kg), na casca do caule de Momika (107 g/kg) e nas folhas velhas de Itamaraká (94 g/kg) (BARRETO *et al.*, 2008). Berardini *et al.*, (2005) estudaram os teores de mangiferina nos frutos de 14 cultivares procedentes de áreas cultivadas em diferentes países: R2E2 (Austrália), Kent e Tommy Atkins (Brasil), Mini-mango (Colombia), Haden e Heidi (Peru), Ngowe (Quênia), José (La Réunion - departamento ultramarino francês), Chock Anan, Kaew, Maha Chanock, Manila, Mon Duen Gao e Nam Dokmai (Tailândia). Estes pesquisadores observaram que a mangiferina é encontrada predominantemente na casca. Na polpa, foram detectados apenas traços dessa substância. As maiores concentrações, cerca de 1.300 mg/kg, foram determinadas nas cascas de manga cv. Tommy Atkins e cv. Chock Anan. Entretanto, BARRETO *et al.*, (2008) detectaram uma concentração quase seis vezes maior para Tommy Atkins.

Além disso, AZEVEDO (2006) verificou que a quantidade de mangiferina varia com o estado de maturação da manga (Tommy Atkins) e detectou um decaimento à medida que o fruto amadurece.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada, em sua maior parte, no LIAF- Laboratório de inspeção e análise de falhas e em outros momentos no LQAMA - Laboratório de química analítica e microbiologia ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE, Campus Maracanaú.

4.1. MATERIAIS

4.1.1. EQUIPAMENTOS E VIDRARIAS

Os equipamentos e vidrarias utilizados durante a pesquisa foram: turbidímetro da marca Policontrol e modelo Itaw-1000, pHmetro da marca Dellab e modelo DLA-pH, potenciostato/galvanostato AUTOLAB modelo PGSTAT 128N, politriz, computador da marca DELL, lixadeira, secador, balança analítica da marca radwag e modelo AS 220/C/2, cortador, béquer, bastão de vidro, balão volumétrico, vidro de relógio, pipeta graduada, espátula, eletrodo de platina, eletrodo de Ag/AgCl da marca KASVI e modelo k38-1460, cano de PVC, fio de cobre, solda, voltímetro da marca MINIPA e modelo ET -1110A, analisador termogravimétrico, aço carbono 1010.

4.1.2. REAGENTES

Os reagentes utilizados foram: ácido clorídrico PA (HCl), água destilada, mangiferina, álcool etílico PA (C₂H₆O), anilina PA (C₆H₅NH₂) da marca Synth, catalisador e resina epóxi todos da VETEC exceto a anilina.

4.2. MÉTODOS

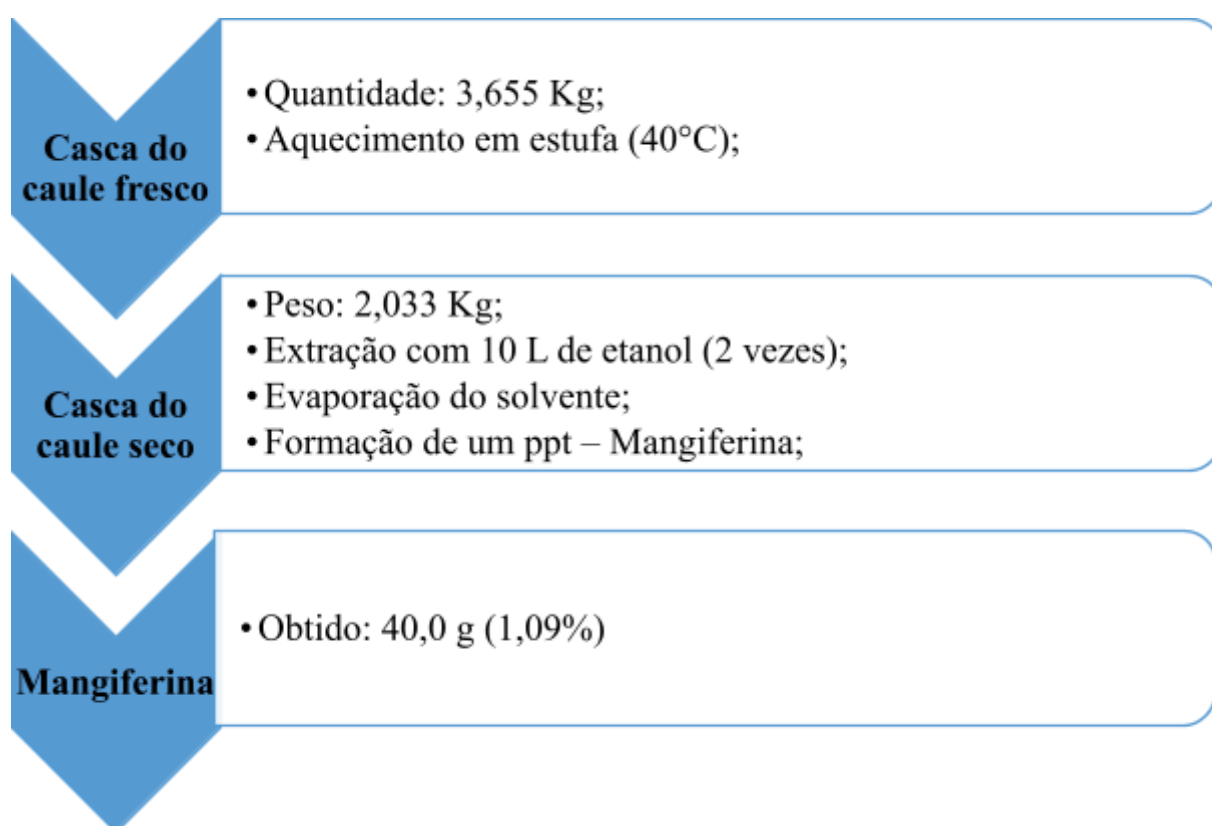
4.2.1. EXTRAÇÃO DA MANGIFERINA

A substância Mangiferina utilizada neste trabalho foi cedida pelo Laboratório de Produtos Naturais e Química Medicinal (LPNQUIMED) do departamento de Química Orgânica da Universidade Federal do Ceará – UFC. A mesma foi obtida a partir da extração do caule da planta *Mangifera indica* L. (mangueira), utilizando o etanol como solvente

extrator. O procedimento de obtenção e purificação da Mangiferina está devidamente apresentado na literatura (SAMPAIO, 2015).

O material coletado foi, primeiramente, aquecido em estufa (retirada da umidade) e, em seguida, o material seco foi extraído com etanol (10 L), durante duas extrações consecutivas, uma a cada semana. Esse material foi submetido à evaporação do solvente por evaporador rotativo, para a obtenção do extrato da casca do caule. Segue abaixo a figura 14 com o fluxograma dessa extração.

Figura 14: fluxograma de extração da mangiferina

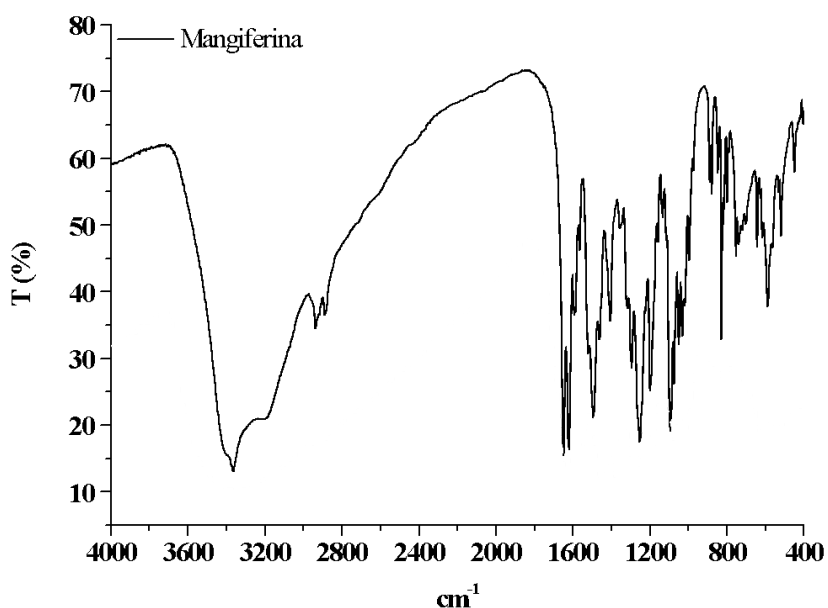


Fonte: SAMPAIO, 2015

É importante destacar que, durante a concentração do extrato, ocorre a formação de um precipitado branco e esse, após sucessivas lavagem com metanol, é centrifugado e descartado o sobrenadante. O material sólido obtido desse processo é a mangiferina e se caracteriza como um sólido levemente amarelado, amorfo, com faixa de fusão 269-271 °C e $\lambda_{(MAX)}$ 240, 258, 320 e 368 nm.

SAMPAIO et al, 2015, caracterizou a pureza da substância utilizada neste trabalho, a partir da técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com Detector de arranjo de Diodos (DAD). Além disso, a substância foi submetida à avaliação em um espectrofotômetro de absorção na região do Infravermelho, com Transformada de Fourier (FTIR) em equipamento Perkin-Elmer, modelo FT-IR SPECTRUM 1000, utilizando pastilha de brometo de potássio (KBr), de 4000 a 400 cm^{-1} . O espectro de infravermelho da mangiferina, presente na figura 15, apresentou diferentes sinais, os quais foi possível destacar os sinais em 1520 e 1094 cm^{-1} , referentes à ligação dupla entre os carbonos do anel aromático e a ligação da hidroxila fenólica ao anel aromático da mangiferina, respectivamente.

Figura 15: Espectro de Infravermelho da Mangiferina.



Fonte: SAMPAIO, 2015.

4.3. PREPARO DAS SOLUÇÕES

4.3.1. SOLUÇÕES DE MANGIFERINA

Para avaliar o efeito inibidor de corrosão da Mangiferina, foi utilizada solução aquosa de HCl 0,5 mol.L^{-1} na ausência e presença de Mangiferina, nas concentrações 25, 50, 100 e 300 ppm da concentração de mangiferina adicionada ao preparo respectivamente. Na

condição ausente de Mangiferina, convencionou-se o parâmetro de concentração de 0 ppm. A adição da Mangiferina no preparo das soluções de testes foi realizada através de diluições para um volume final de 1000ml em garrafas âmbar, para maior proteção da solução, a partir de seu extrato alcoólico por etanol de concentração de 10.000 ppm com 99,8% de pureza.

4.3.2. SOLUÇÕES DE ANILINA

Para avaliar o efeito inibidor de corrosão da anilina, foi utilizada solução aquosa de HCl 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de anilina, nas concentrações 25, 50, 100 e 300 ppm da concentração de anilina adicionada ao preparo respectivamente. Na condição ausente de anilina, convencionou-se o parâmetro de concentração de 0 ppm. A adição da anilina no preparo das soluções de testes foi realizada através de diluições para um volume final de 1000ml a partir de uma solução P.A. com 99,8% de pureza da marca Synth.

4.3.3. TESTE DE SOLUBILIDADE

O teste de solubilidade das soluções foi realizado usando um turbidímetro. Para a leitura das amostras em estudo, o equipamento foi calibrado com as faixas de calibração de 0,02 NTU até 100 NTU. As amostras que participaram do teste foram de 25, 50, 100 e 300 ppm de mangiferina e anilina.

4.4. ENSAIOS DE PERDA DE MASSA

Como substrato, utilizou-se a liga de aço-carbono 1010, figura 16, que foi confeccionada e tratada de acordo com os ensaios que a mesma foi submetida. Neste trabalho, a denominação para esta liga será apenas de aço-carbono.

Nos ensaios de perda de massa, foram utilizadas amostras de aço-carbono de dimensões (25 mm x 20 mm x 1 mm). As mesmas passaram por processo de lixamento com lixas d'água de granulometria de 100 mesh utilizando politriz com rotação aproximada de 300 rpm. Posteriormente, as superfícies foram lavadas com água deionizada e etanol e secas com auxílio de ar quente. O procedimento adotado para este ensaio foi o mesmo apresentado na literatura (BARROS, 2015), onde é descrito as dimensões e tratamento das superfícies em estudo.

Figura 16: Modelo de amostra teste de aco carbono 1010.



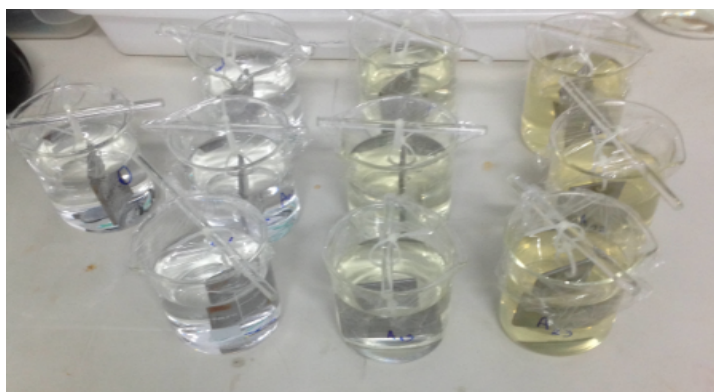
Fonte: Autor

As amostras foram imersas em solução de HCl ($0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) até um intervalo de tempo de 144 horas na temperatura ambiente na ausência de presença mangiferina e anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm. A perda de massa foi determinada, gravimetricamente, empregando uma balança analítica com precisão de 0,1 mg. Os ensaios foram realizados em triplicatas. A eficiência de inibição ($\eta\%$) foi determinada pela Equação 1:

$$\eta\% = \frac{w_{corr,0} - w_{corr}}{w_{corr,0}} \times 100 \quad (1)$$

em que , $w_{corr,0}$ e w_{corr} representam a perda de massa na ausência e presença do inibidor, respectivamente. Segue figura 17 que mostra o teste de perda de massa, onde realizou-se a imersão do substrato metálico em diferentes concentrações em triplicata.

Figura 17: Perda de Massa.



Fonte: Autor

4.5. ENSAIOS ELETROQUÍMICOS

Para os ensaios eletroquímicos, as amostras de aço-carbono foram devidamente cortadas e conectadas a um fio de cobre encapado por intermédio de solda e, posteriormente, embutidas a frio, utilizando resina do tipo epóxi. As superfícies utilizadas para o estudo foram lixadas com lixas d'água de granulometria de 100 até 600 mesh utilizando politriz com rotação aproximada de 300 rpm até o desaparecimento dos traços da lixa anterior. Posteriormente, as superfícies foram lavadas com água deionizada e etanol. Em seguida foram secos com fluxo de ar quente, conforme apresentado na literatura (BARROS, 2015). As amostras (Eletrodo de Trabalho) tiveram as suas bordas isoladas com solução impermeabilizante, para evitar infiltração como mostra a figura 18. Após a secagem, as áreas expostas foram devidamente medidas e calculadas.

Figura 18: Amostra para ensaio eletroquímico.



Fonte: Autor

Os ensaios eletroquímicos foram realizados utilizando um potenciostato/galvanostato AUTOLAB modelo PGSTAT 128N. O *software* utilizado para o monitoramento foi o NOVA 1.8. Foi utilizada uma célula padrão de três eletrodos: o eletrodo Ag/AgCl/KCl saturado como eletrodo de referência, um contra-eletrodo de platina, com área exposta superior a três vezes a do eletrodo de trabalho e o eletrodo de trabalho, propriamente dito. Os ensaios foram realizados em célula eletroquímica de capacidade de 250 mL, contendo a solução HCl 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina e anilina, nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm. Os ensaios são todos independentes. Após cada ensaio a superfície do eletrodo de trabalho era novamente preparado para ser utilizado em outro novo ensaio.

Todos os resultados eletroquímicos tiveram seus resultados ajustados de acordo com a área de cada eletrodo de trabalho. Para fins de validação, todos os ensaios eletroquímicos foram realizados em triplicata.

4.5.1. POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO

Inicialmente, foi realizado o ensaio de estabilização dos Potenciais de Circuito Aberto (PCAs) para verificar o tempo em que se estabiliza o sistema. Neste ensaio foi monitorado o potencial no período de 60 minutos após a imersão da amostra tratada. As curvas obtidas com estes ensaios foram plotadas com o potencial em função do tempo da análise.

4.5.2. CURVAS DE POLARIZAÇÃO

Para os ensaios de Polarização Potenciodinâmica onde a varredura iniciou-se a partir de uma sobrevoltagem de -200 mV a partir do Potencial de Circuito aberto - PCA. Antes de iniciar o ensaio, o sistema foi estabilizado por 10 minutos. A taxa de varredura foi de 2,0 mV.s⁻¹. Neste ensaio as amostras eram tratadas igualmente as amostras de potencial de circuito aberto. Os valores de corrente foram ajustados de acordo com a área do eletrodo de trabalho.

4.5.3. ENSAIO DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA

Para os ensaios de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) foi aplicado uma perturbação de amplitude fixa de 10 mV ao PCA na ausência e presença de Mangiferina e anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm. A faixa de frequência variante foi de 40 kHz a 2,5 mHz. Os ensaios de EIE foram interrompidos após a estabilização do sistema em frequências mais baixas. Neste trabalho, os diagramas de impedância estão apresentados no modelo de Bode e Nyquist.

4.6. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DA MANGIFERINA

A análise termogravimétrica foi executada em um equipamento da marca Perkin Elmer modelo STA 6000. Para esta análise utilizou-se 24.677 mg de mangiferina. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min na faixa de 25-900°C sob vazão de nitrogênio de 30 mL/min.

Para a análise de DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura) foi utilizado um equipamento DSC Q20 V24.9 Build 121, utilizando o gás nitrogênio com fluxo de 50 ml/min e 6.2 mg de mangiferina. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min e uma faixa de temperatura de temperatura de equilíbrio de 25°C a uma temperatura final de 400°C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

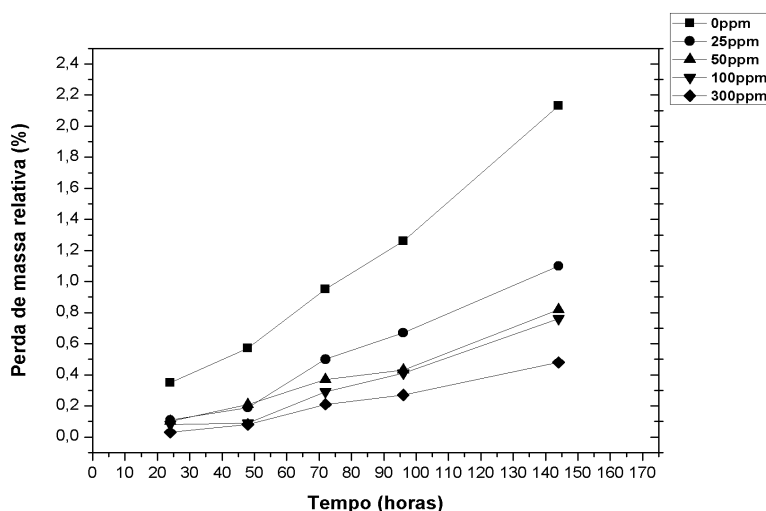
5.1. TESTE DE SOLUBILIDADE

A partir de dados obtidos nos teste de solubilidade realizado com o turbidímetro, foi observado que todas as soluções de anilina e mangiferina apresentaram 0,02 NTU como resultado, logo podemos dizer que todas as soluções apresentaram solubilidade total no preparo. Esse resultado nos garante que o inibidor está solubilizado no eletrólito, onde este apresentará uma ação de sequestro de radicais oxigênio, como relatado por Barros et al (2015).

5.2. ENSAIO DE PERDA DE MASSA

Os ensaios foram todos realizados seguindo a metodologia exposta anteriormente, onde as soluções foram diluídas nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm de mangiferina, e igualmente, para a anilina. No teste de perda de massa, que consistiu em análise gravimétrica da diferença de peso das chapas em triplicatas com média das massas, foram gerados dados a partir da equação 1 e estes organizados e expostos na figura 19 e figura 20.

Figura 19: Ensaio de perda de massa para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm na temperatura ambiente.



Fonte: Autor

Observando a figura 19, para as amostras imersas apenas em meio ácido, o resultado de perda de massa apresentou uma média de 0,96 gramas em 144 horas de imersão, que consiste em 2,13% da massa total da amostra ensaiada. Em comparação com as amostras que tiveram adição de concentrações conhecidas de mangiferina (100 e 300 ppm), estas apresentaram uma redução da perda de massa significativa em relação à amostra na ausência de mangiferina (0 ppm). Na tabela 01 consta o resumo dos resultados de perda de massa relativa para cada concentração em estudo no tempo de 144 horas. Segue figura dos corpos de prova durante o teste.

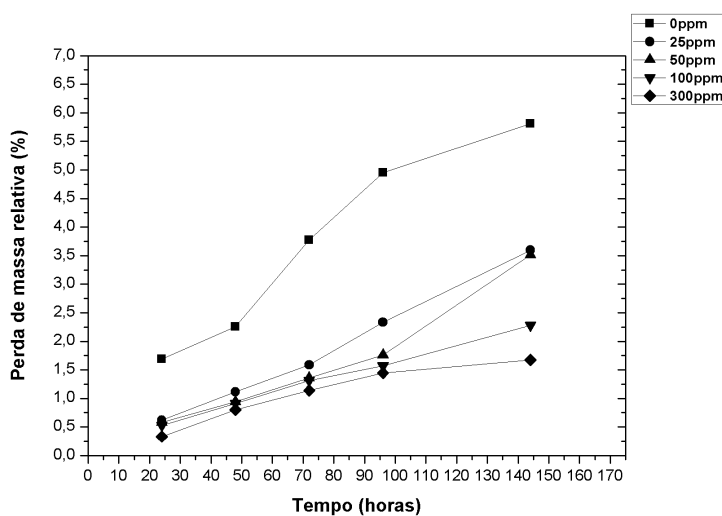
Tabela 01: Perda de Massa em Grama por Concentração.

Conc.	Massa relativa (%)
0 ppm	2,13
100 ppm	0,76
300 ppm	0,48

Fonte: Autor.

Visualizando a tabela 01, observa-se uma redução significativa da perda de massa relativa com a adição de mangiferina. A perda de massa para a maior concentração de mangiferina (300 ppm) reduziu em 77,5% a ação corrosiva do meio, quando comparada com a amostra sem a adição de mangiferina (0 ppm). Este resultado sugere que a mangiferina apresenta comportamento inibidor no estudo proposto.

Figura 20: Ensaio de perda de massa para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm a temperatura ambiente.



Fonte: Autor.

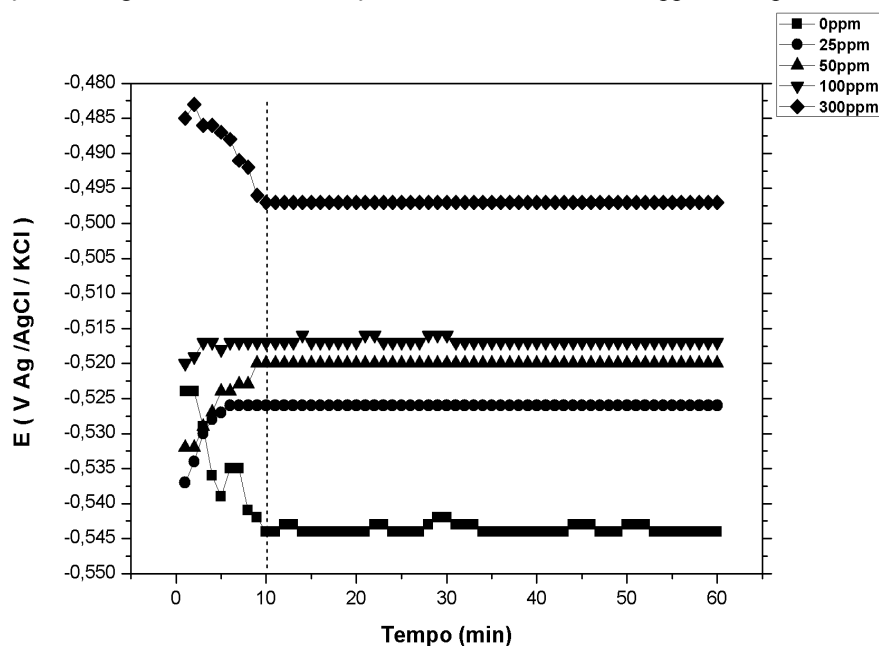
Observando a figura 20, podemos notar que ao aumento da concentração de anilina o sistema apresentou uma resposta com redução da perda de massa do substrato metálico, isso levando em comparação a amostra sem adição do inibidor. O resultado para a maior concentração de anilina (300ppm) foi uma redução de aproximadamente 71,14% de perda de massa, o que está de acordo com a literatura (CARDOSO, 2008). Além disso, devido a diferença de massa entre as placas e as alterações de superfície de contato é possível ver a diferença da perda de massa entre as amostras apenas com o meio ácido.

Os resultados apresentados acima são coerentes com a literatura (BOUMHARA, 2015). Segundo os autores BOUMHARA e *et al*, (2015) que elaboraram um estudo detalhado do efeito da inibição do óleo essencial *Artemisia Mesatlantica* (AMEO) sobre o comportamento de corrosão do aço-carbono em solução de ácido clorídrico ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ HCl}$) a $30,8^{\circ}\text{C}$. O estudo demonstrou que o óleo essencial reduziu a perda de massa em 92% com uma concentração de 3g/L de AMEO o que em termos de proporção seria uma concentração 10 vezes maior do que a do estudo proposto para ambos os inibidores em estudo.

5.3. POTENCIAL DE CIRCUITO ABERTO

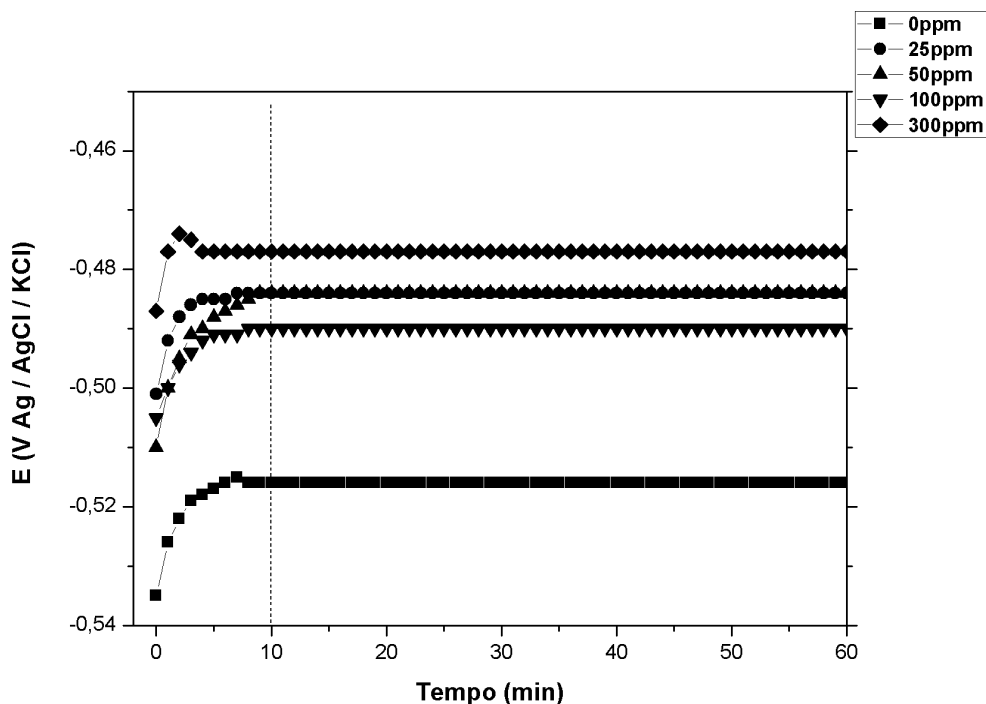
Nos ensaios de monitoramento dos PCAs com o tempo, as amostras foram imersas nas soluções ácidas na ausência e adicionadas de Mangiferina e anilina, em concentrações específicas (0, 25, 50, 100 ppm e 300 ppm), respectivamente. Na figura 21 para a mangiferina e figura 22 para anilina, estão expostos os monitoramentos dos potenciais de circuito aberto (PCA) com um tempo de imersão de 60 minutos.

Figura 21: Monitoramento do potencial de circuito aberto para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.



Fonte: Autor

Figura 22: monitoramento do potencial de circuito aberto para aço carbono em ácido clorídrico 0,5 mol.L⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.



Fonte: Autor

Visualizando a figura 21 (mangiferina) e a figura 22 (anilina), nota-se que os PCAs após um intervalo de tempo de 10 min (600s) apresentam valores de potenciais praticamente

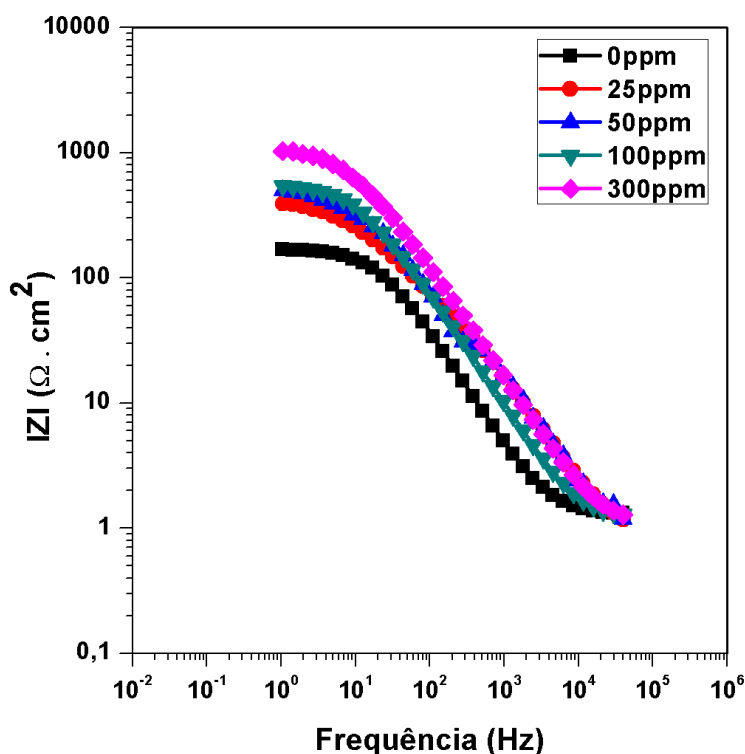
constantes com os exibidos para um ensaio de até 1 hora (60 min.). Este resultado sugere que os sistemas já se encontram estabilizados cineticamente para um tempo de imersão de 10 minutos (BARD, 2001).

5.4. ESPECTROMETRIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA

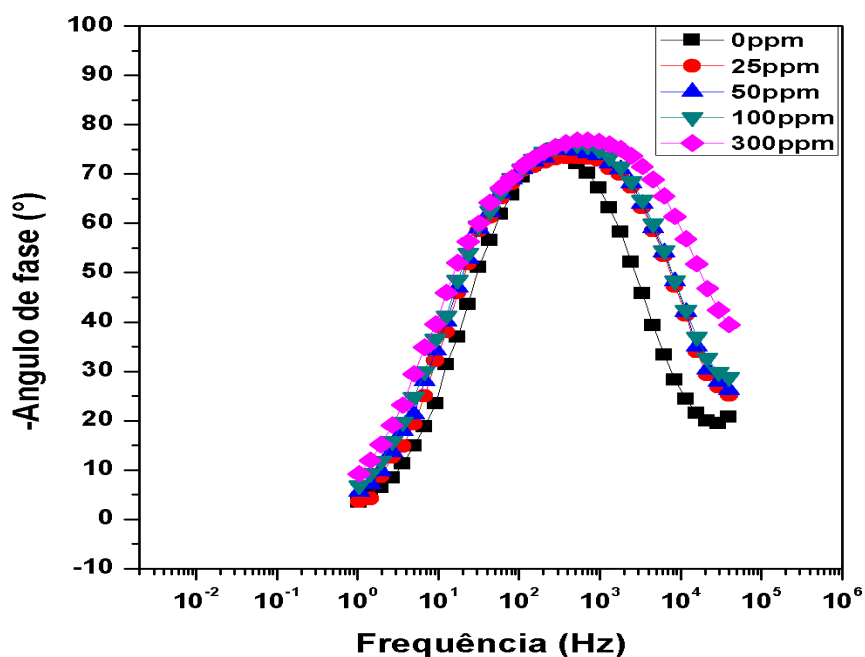
5.4.1. ENSAIOS PARA A MANGIFERINA

Os ensaios EIE foram realizados após 60 minutos de estabilização. Na figura 23 e figura 24 estão apresentados os resultados nos diagramas de Bode e Nysquist, respectivamente, obtidos para este ensaio nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm, apresentando sempre como referência a concentração sem acréscimo de mangiferina.

Figura 23: Diagrama de Bode obtido para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) módulo da impedância versus Frequência e b) - ângulo de fase versus Frequência.



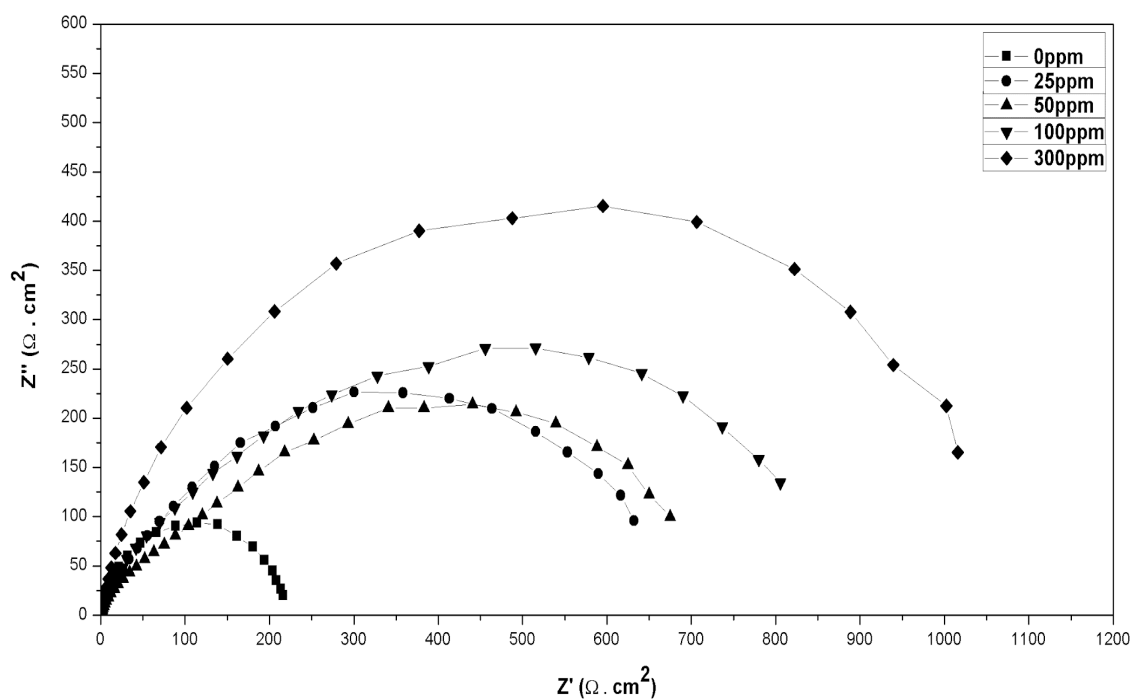
a)



b)

Fonte: Autor

Figura 24: Diagrama de Nyquist obtido para aço-carbono em ácido clorídrico $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.

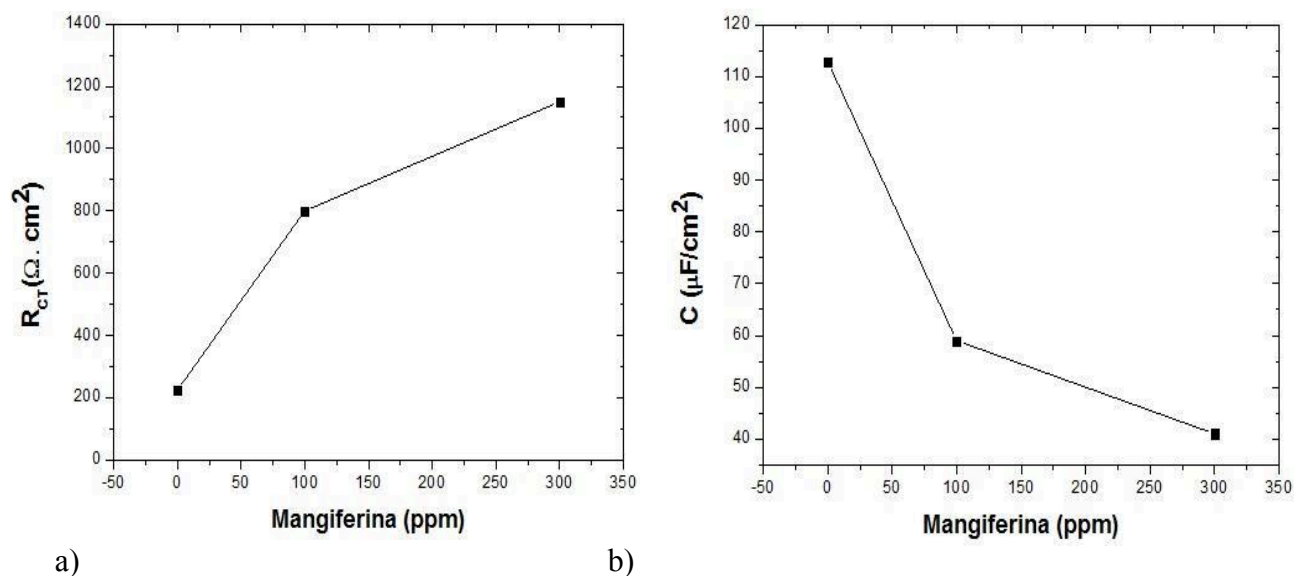


Fonte: Autor

A partir dos dados obtidos com o gráfico da figura 24, foram elaborados gráficos de resistência a transferência de carga e de capacitância, para as diferentes concentrações do

inibidor, para análise de seu comportamento. Segue a figura 25 elaborada conforme a descrição.

Figura 25: Valores de Resistência a transferência de carga (R_{ct}) e Capacitância (C) obtidos para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L⁻¹ na ausência e presença de Mangiferina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) R_{ct} versus concentração de Mangiferina e b) Capacitância versus concentração de Mangiferina.



Fonte: Autor

Nas figuras 23 e 24, estão apresentados os diagramas de EIE no formato de Bode e Nyquist, respectivamente, onde são expostos os resultados para diferentes concentrações de mangiferina (0, 25, 50, 100 e 300 ppm).

Na figura 23, de acordo com o diagrama de Bode, é possível observar apenas um processo eletroquímico ocorrendo na superfície do eletrodo, isso para um intervalo de frequência de 40.000Hz até aproximadamente 1 Hz. Visto que, o mesmo só apresenta uma constante de tempo em sua trajetória (MACDONALD, 1987).

Na figura 24, é notório que a resistência do eletrólito (R_Ω) na região de alta frequência é extremamente baixa, sendo desprezível a polarização por queda ôhmica. Se fazendo, assim, desnecessário ajustar os valores de densidade de corrente antes apresentados na figura 11 (TICIANELLI, 2013). Além disso, é possível visualizar também um aumento dos valores de impedância com o incremento da concentração de mangiferina.

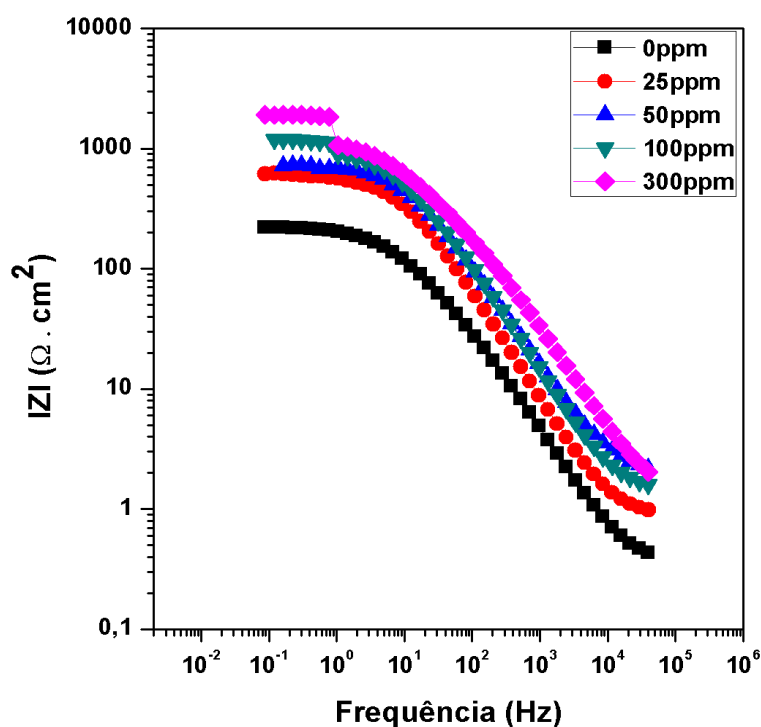
De acordo com os gráficos da figura 25, observa-se um aumento dos valores de R_{ct} com o aumento da concentração de mangiferina, e também a diminuição dos valores de C com o aumento da concentração de mangiferina. Tais resultados pressupõem o entendimento de que

o inibidor está diminuindo o processo de transferência de carga sobre a superfície do substrato em estudo, reduzindo cineticamente o processo corrosivo, o que é notório para as amostras que tiveram adição do antioxidante. Logo, esta redução da resistência à transferência de carga pode estar associada à adsorção do inibidor (mangiferina) na superfície eletródica em estudo. Sendo, pois, fundamento de acordo com a literatura (SHABANI-NOOSHABADI, 2015) (EL HAMDANI, 2015).

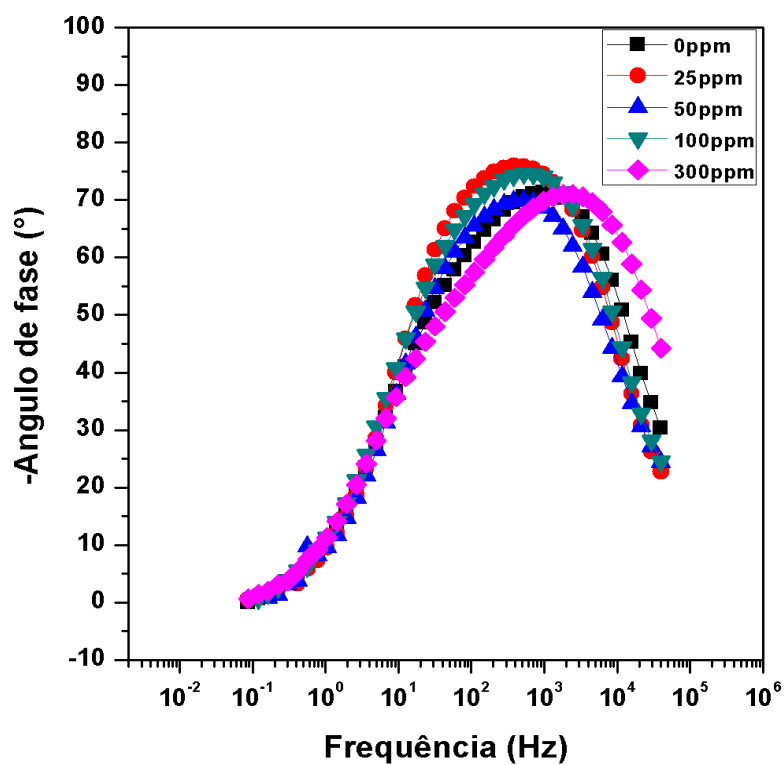
5.4.2. ENSAIOS PARA A ANILINA

Nas figuras 26 e 27, estão expostos os resultados nos diagramas de Bode e Nysquist, respectivamente, para a anilina. Estes obtidos através de diferentes concentrações da substância em estudo (0, 25, 50, 100, 300 ppm).

Figura 26: Diagrama de Bode obtido para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) módulo da impedância versus Frequência e b) - ângulo de fase versus Frequência.



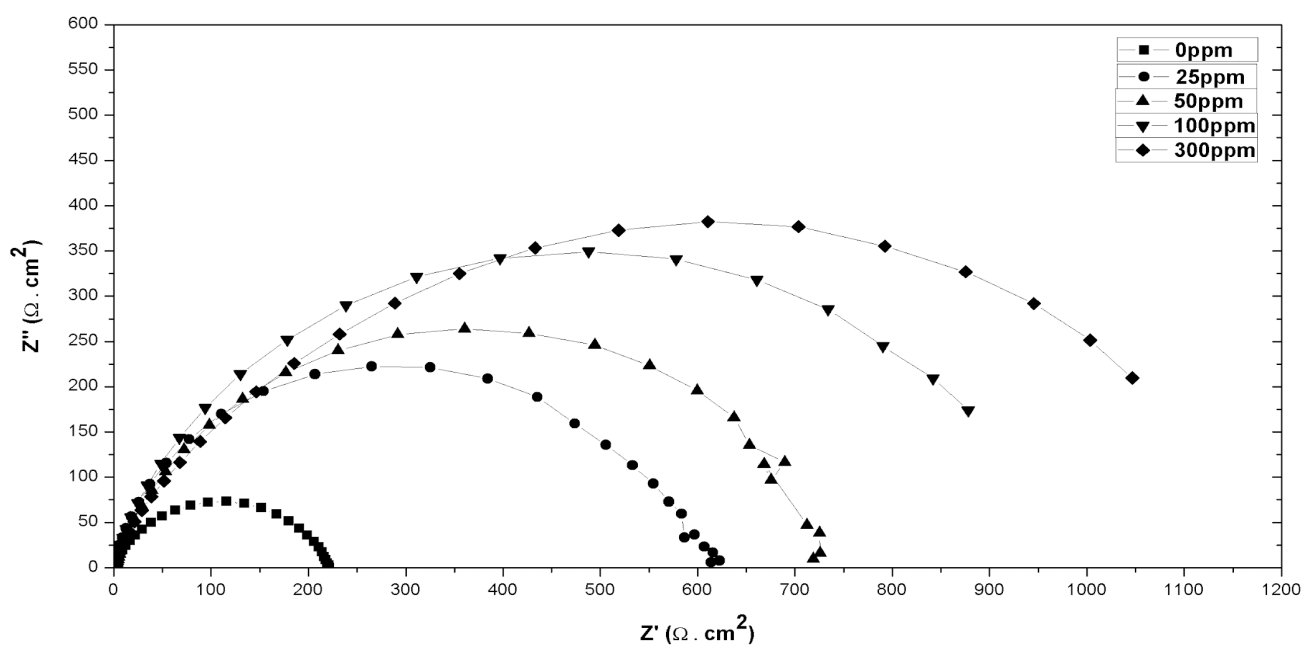
a)



b)

Fonte: Autor

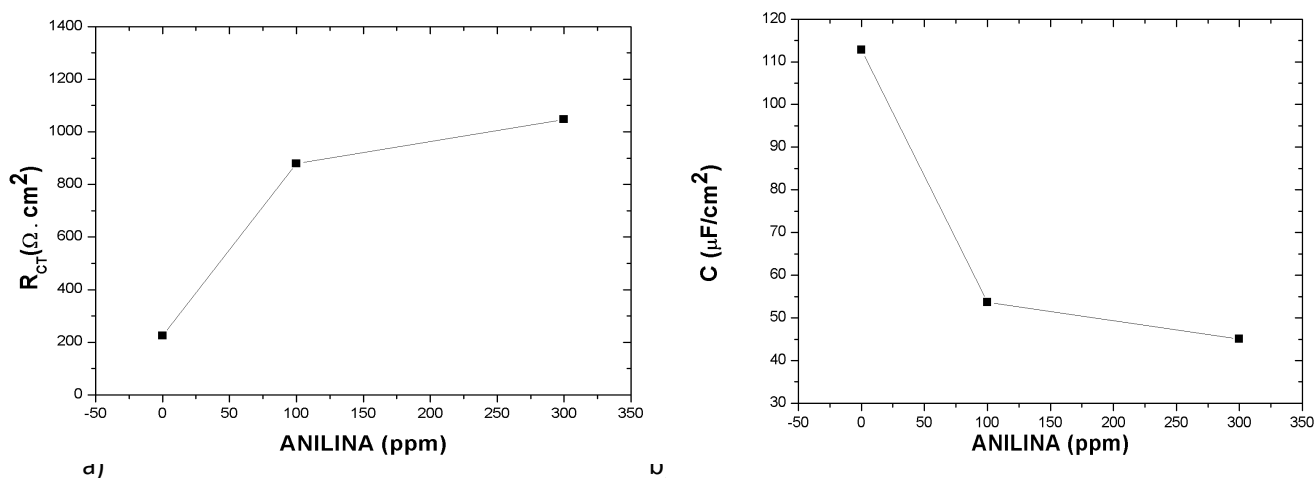
Figura 27: Diagrama de Nyquist obtido para Aço-Carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L⁻¹ na ausência e presença de Anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.



Fonte: Autor

A partir dos dados obtidos com o gráficos da figura 26, foram elaborados gráficos de resistência a transferência de carga e de capacitância, frente a diferentes acréscimos de inibidor (anilina) para a observação do seu comportamento durante o percorrer da análise. Segue abaixo a figura 28 como descrita anteriormente.

Figura 28: Valores de Resistência a transferência de carga (R_{ct}) e Capacitância (C) obtidos para aço-carbono em ácido clorídrico 0,5 mol·L⁻¹ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente. a) R_{ct} versus concentração de Anilina e b) Capacitância versus concentração de Anilina.



Fonte: Autor

Observando a figura 26, podemos ver que no diagrama de Bode, exposto, ocorre apenas um processo sobre a superfície do substrato metálico. De acordo com relatos da literatura (CARDOSO, 2008) o aço carbono, quando exposto a um meio ácido com adição de anilina, apresenta em sua trajetória no gráfico, apenas um processo na superfície do substrato metálico. Portanto, é possível a comprovação, por meio da literatura, que o teste segue os padrões de resultados esperados para tal composto em análise.

Na figura 27, onde é visualizado o diagrama de Nysquist para a anilina, é possível notar que a relação entre a impedância e a concentração do inibidor (anilina) é crescente e diretamente proporcional. Porém, através de relatos da literatura (CARDOSO, 2008), é possível observar valores maiores para a impedância com o crescimento da anilina. Relataram ainda neste estudo, que para o aço carbono ocorria somente a formação de arco indutivo, quando este era submetido ao teste com a presença da anilina. Sendo, assim, confirmado que o teste é válido, pois apresenta semelhança ao que está exposto na literatura.

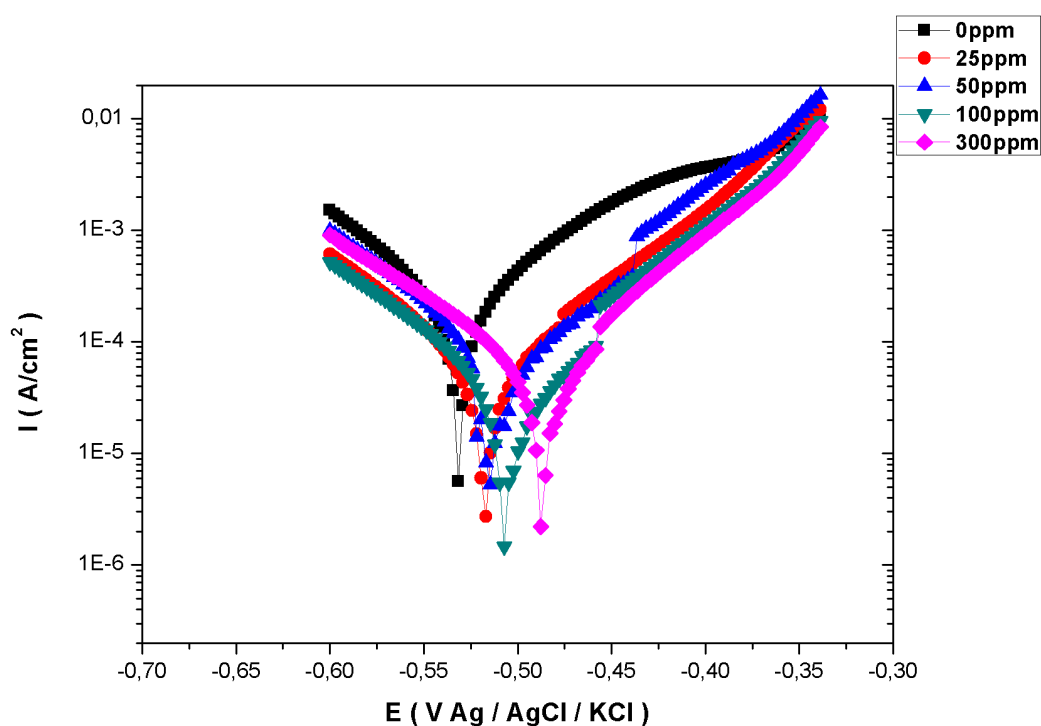
Na figura 28 (a), é possível observar o aumento da resistência à transferência de carga com o aumento da concentração de anilina, o que se assemelha ao observado para a

mangiferina. Porém, para a mangiferina os resultados foram melhores. Dentro da literatura de referência (CARDOSO, 2008), é possível confirmar que essa ação mencionada, é coerente a relatada na bibliografia. Porque nesta, também, foi observado um aumento nos valores estimados para a resistência à transferência de carga (R_{tc}), quando comparados aos ensaios apenas com o branco. Sendo, ainda, demonstrado por ela que os valores de R_{tc} tendem a diminuir com o aumento da temperatura. Além do mais, foi visualizado na figura 28 (b) que a capacitância da dupla camada elétrica formada, próxima ao eletrodo, teve redução progressiva com o acréscimo gradual da concentração de anilina.

5.5. CURVAS DE POLARIZAÇÃO POTENCIODINÂMICAS

Os ensaios de polarização potenciodinâmica foram realizados após 10 minutos de estabilização, como estabelecido, anteriormente, pelos ensaios de potencial de circuito aberto. Na figura 29 e 30, estão apresentados os resultados obtidos para as curvas de polarização nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm de mangiferina e de anilina, respectivamente.

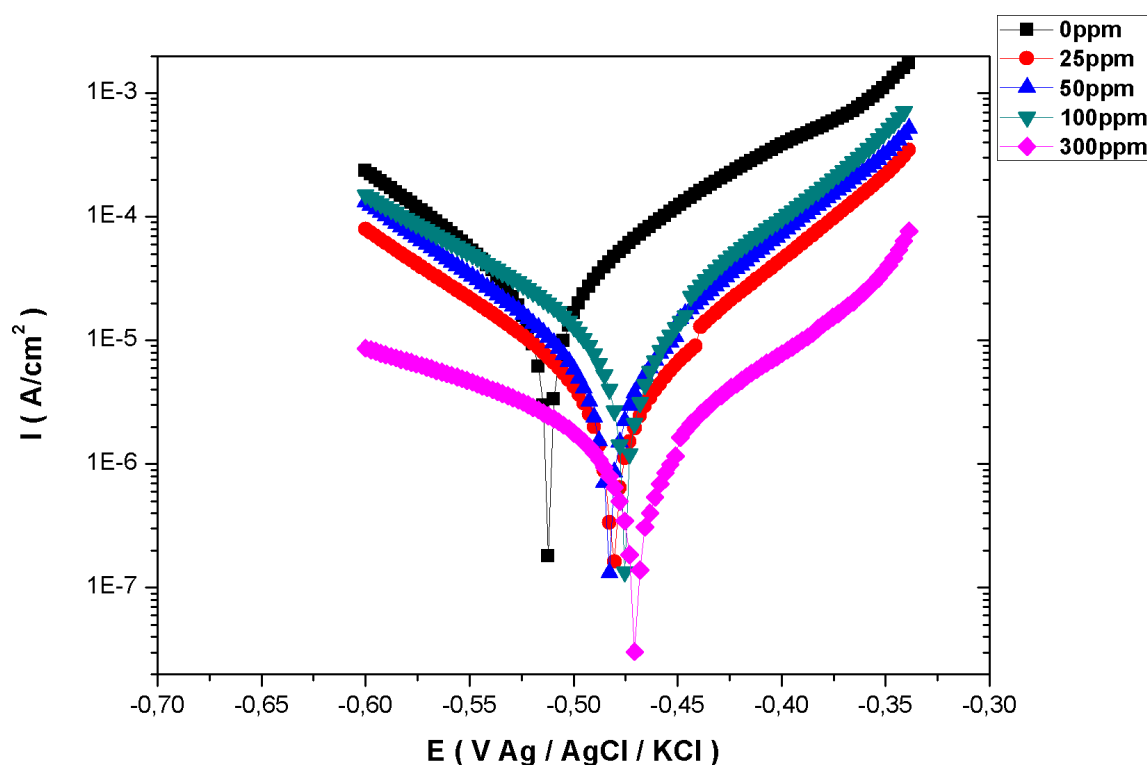
Figura 29: Curvas de polarização potenciodinâmica obtidas para aço carbono em ácido clorídrico $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ na ausência e presença de extrato etanólico de Mangiferina nas concentrações de 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.



Fonte: Autor

Visualizando as curvas de polarização, expostas na figura 29, observa-se o deslocamento dos PCAs para valores mais catódicos com o aumento da concentração de mangiferina na solução ácida. Também, pode ser observado uma redução das densidades de corrente na região anódica, com o aumento da concentração de mangiferina no meio ácido em relação à concentração de 0 ppm. Portanto, este resultado sugere que o inibidor proposto (mangiferina) apresenta atividade inibitória no processo corrosivo do aço-carbono 1010, no sistema proposto, estando de acordo com os resultados obtidos de perda de massa anteriormente apresentados e, também, pelos resultados de espectroscopia de impedância eletroquímica. Além do mais, é possível observar, também, através das curvas de polarização potenciodinâmica, expostas na figura 29, que a ação do inibidor alterou os valores de densidades de corrente tanto na região catódica, como na região anódica, levando a uma redução das duas regiões. Logo, este resultado, conforme relatado na literatura, sugere que o inibidor em estudo tem ação mista ou dual, ou seja, sugere-se que a mangiferina reduz as reações anódicas e catódicas sobre a superfície eletródica (BARD, 2001).

Figura 30: Curvas de polarização potenciodinâmica obtidas para aço carbono em ácido clorídrico $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ na ausência e presença de anilina nas concentrações de 0, 25, 50, 100 e 300 ppm à temperatura ambiente.



Fonte: Autor

Observando a figura 30, podemos notar redução dos valores nas duas regiões da curva, tanto anódica como catódica, o que confirma o relatado na literatura (CARDOSO, 2008), onde mostra que para os ensaios de polarização com a presença da anilina, ocorreu redução nas correntes anódicas e catódicas, em comparação ao branco. Sendo notado ainda, no relato que para o aço carbono, ocorre uma maior redução na corrente anódica, quando comparada a corrente catódica, isto em relação ao aço inoxidável.

Como é relatado, também, na literatura (CARDOSO, 2008), que a anilina apresenta um mecanismo de interação com o substrato por adsorção. É possível deduzir então, que isso é uma prova relevante para acreditamos que a mangiferina apresenta a mesma forma de interação, já que a ação dos inibidores são ambas do tipo misto, como comprovado pelas curvas de polarização na figura 29 e 30, onde tiveram seus valores reduzidos tanto do lado catódico como anódico.

5.6. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE EIE COM A LITERATURA PESQUISADA

Alguns autores relatam, em seus artigos, resultados semelhantes aos encontrados para ambos os inibidores em estudo. Sendo estes usados então, para assimilação e comprovação dos resultados obtidos.

Segundos os autores YADAV et al. (2015), que estudaram a ação inibidora de alguns compostos sintetizados de aminoácidos na corrosão do aço N80 numa solução de HCl a 15%. Onde, usando polarização potenciodinâmica e impedância AC, mostraram que os inibidores em estudo apresentavam uma boa eficiência de inibição. Além do mais, suas medidas de impedância mostraram que a resistência de transferência de carga (R_{ct}) aumentou e a capacitância da dupla camada elétrica (C_{dl}), diminuiu com aumento da concentração dos inibidores. Logo, este resultado foi associado, segundo os autores, a adsorção das moléculas do inibidor na superfície do aço N80, que foi comprovado pela técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM), onde foi revelado a ocorrência de um processo adsorptivo do inibidor sobre a superfície eletródica. Portanto, por comparação de dados, é possível crer que tanto a mangiferina como a anilina, apresentam tal interação com o substrato metálico.

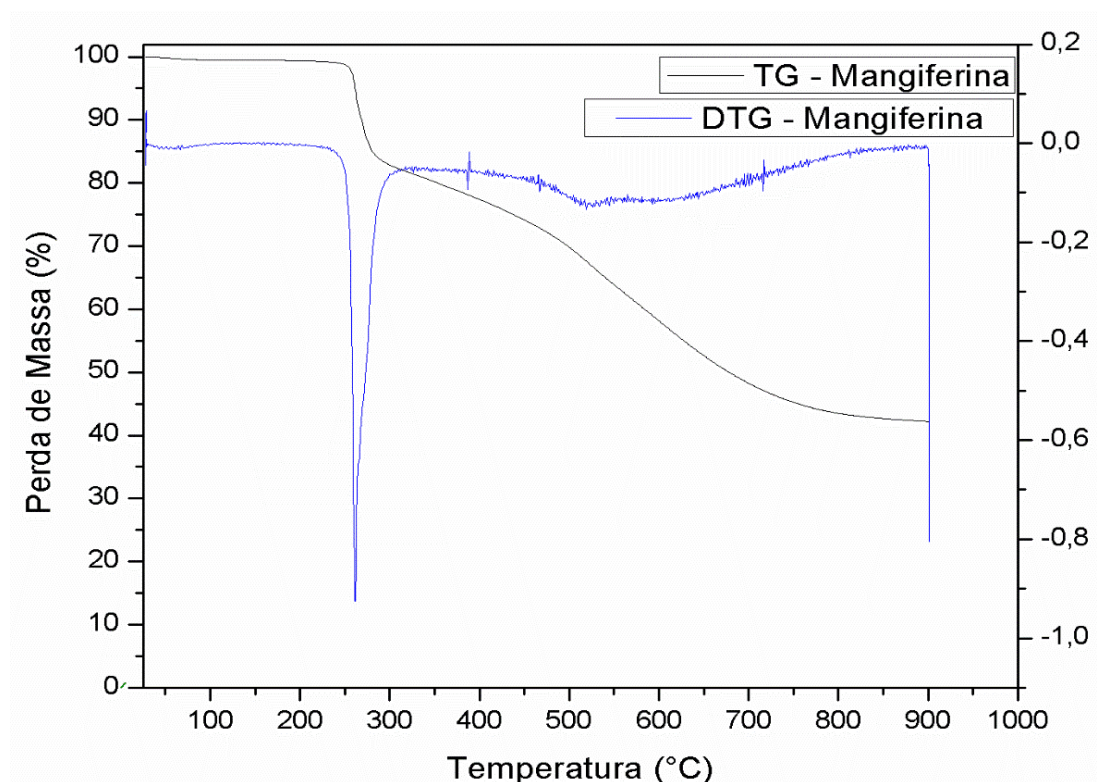
Já os autores EL HAMDANI et al. (2015), estudaram o efeito da inibição de alcaloides extraídos de *Retama Monosperma* (AERs) sobre o comportamento da corrosão do aço-carbono em solução de ácido clorídrico ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ HCl}$) a uma temperatura de 30°C . No

seu estudo foi mostrado que os alcalóides extraídos das sementes de *Retama Monosperma* (AER) podiam ser usados como um inibidor eficaz para a corrosão do aço-carbono em 1 mol·L⁻¹ de HCl. Sendo possível, ainda, mostrar que a eficiência da inibição com o aumento da concentração do inibidor foi de aproximadamente 94%, com 400 mg / L. Além disso, os resultados de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica indicaram que o valor da resistência à transferência de carga (Rct) aumentou e que a capacidade da dupla camada elétrica diminuiu. Logo, este resultado foi atribuído ao aumento da espessura da dupla camada elétrica em consequência a adsorção do inibidor em estudo.

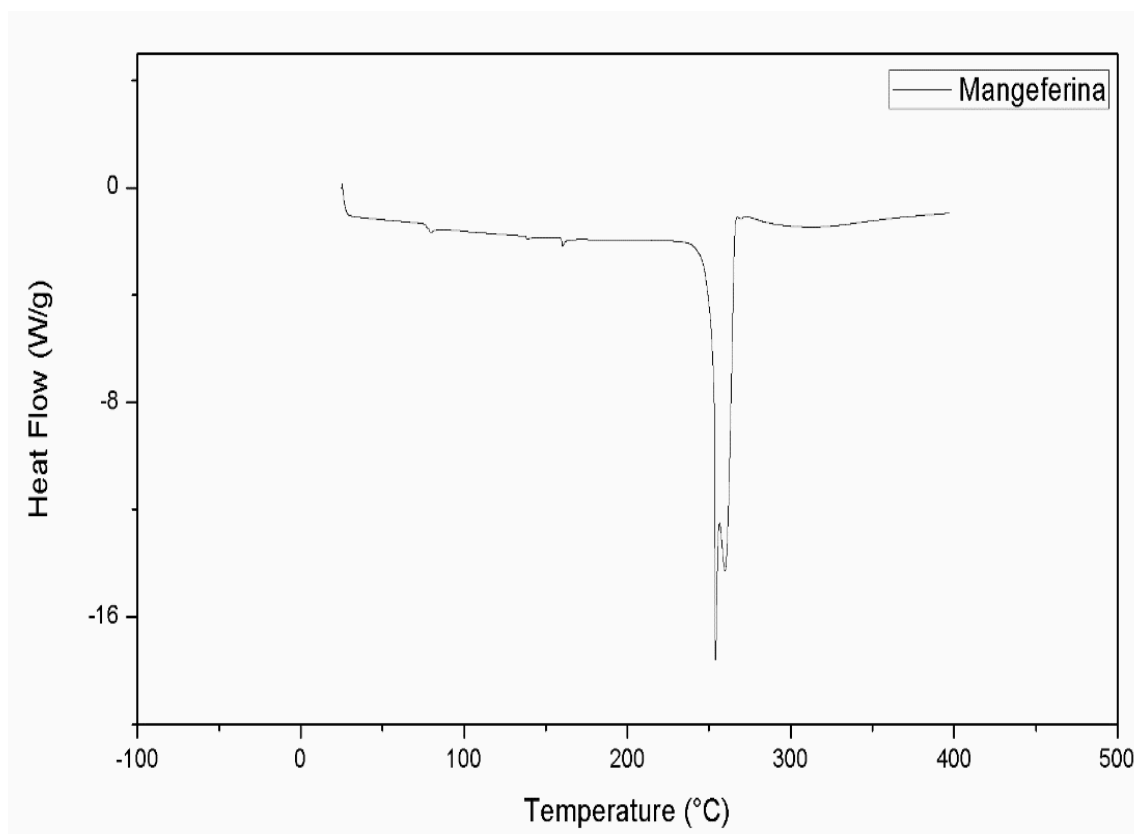
5.7. ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICA DA MANGIFERINA

A partir da metodologia já descrita, os resultados da análises termogravimétricas estão expostos nas figuras 31 e 32, sendo a figura 31 o TG e o DTG obtido para a mangiferina e a figura 32 o DSC.

Figura 31: TG e DTG para a Mangiferina.



Fonte: Autor

Figura 32: DSC da mangiferina.

Fonte: Autor

A partir da análise das figuras 31 e 32, podemos notar que a mangiferina apresenta uma estabilidade térmica até aproximadamente 250°C, o que possibilita seu uso no futuro como inibidor em sistemas de caldeiras. Porém, é necessário ainda um estudo, mais aprofundado, no sentido de condições de estresse oxidativo neste sistema, para que se comprove, que além da temperatura, sua função é mantida para este sistema. Mas, de acordo com a literatura (LEITE, 2008), as caldeiras utilizam uma temperatura de aproximadamente de 100 a 140°C, que é a temperatura de formação de vapor, o que comprova, no sentido de temperatura, que é viável o uso deste inibidor (mangiferina) para este tipo de processo. Além do mais, este artigo inviabiliza o uso da anilina que de acordo com a literatura (SANTOS, 2014), pois este apresenta uma degradação perto de 90°C.

6. CONCLUSÃO

Em virtude dos experimentos e dados apresentados, conclui-se que a mangiferina apresenta propriedades inibidoras de corrosão, dentro do sistema proposto, quando comparadas a ausência total deste composto. Além do mais, a mangiferina quando comparada com a anilina, que é um inibidor comercial, apresentou valores de redução de perda de massa, polarização e de impedância bem próximo. Logo, estes resultados demonstram que sua utilização tem um grande potencial, e que sendo este um inibidor natural, e biodegradável, leva sua utilização para um lado ambientalmente correto.

Quando comparado com a literatura, é possível notar que o mecanismo de ação da mangiferina é do tipo misto, como mostrado a partir dos resultados de polarização, pois este elevou para valores mais nobres tanto a região anódica como a catódica, das curvas de polarização.

Já os estudos termogravimétricos realizados, indicaram que é possível a utilização da mangiferina como um inibidor em sistema de cadeiras, tendo como base a temperatura deste sistema, isso devido sua temperatura de degradação ser de aproximadamente 250°C.

Podemos ainda ressaltar, que como a mangiferina é o componente de maior concentração da casca e do caroço da manga, e sendo este um resíduo industrial da produção de sucos. É possível, com esse trabalho, agregar valor a essa fonte natural de inibidor de corrosão, possibilitando assim, uma redução significativa da produção de resíduos sólidos da indústria e também da contaminação do meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL NABI, A. S.; HUSSAIN, A. A. **Synthesis , Identification and study of some new azo dyes as corrosion inhibitors for carbon-steel in acidic media.** *Journal of Basrah Researches (Sciences)* 2012, 38, 125. [Link]

AFIA, L.; SALGHI, R.; BAZZI, E.; BAZZI, L.; ERRAMI, M.; JBARA, O.; AL-DEYAB, S. S.; HAMMOUTI, B. **Testing natural compounds: Argania spinosa kernels extract and cosmetic oil as ecofriendly inhibitors for steel corrosion in 1 M HCl.** *International Journal of Electrochemical Science* 2011, 6, 5918. [Link]

ALICEWEB: **sistema de análise das informações de comércio exterior.** Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 16 maio 2013.

AMIN, M. A. **“Testing validity of the Tafel extrapolation method for monitoring corrosion of cold rolled steel in HCl solutions – Experimental and theoretical studies”**, Corrosion Science, V. 52, pp. 140 -151, 2010.

AVWIRI, G.O., IGHO, F.O., **“Inhibitive action of Vernonia amygdalina on the corrosion of aluminium alloys in acidic media”**, Mater. Lett, v. 57, pp.3705-3711, 2001.

AZEVEDO, L. C.; DE AZOUBEL, P. M. L.; SILVA, I. R. A.; ARAUJO, A. J. de B.; OLIVEIRA, S. B. **Caracterização físico-química da farinha da casca de manga cv. tommy atkins.** Anais do XXI CBCTA, 2008.

AZEVEDO, A. C. S. **Estudo das enzimas oxidativas e presença de compostos bioativos em mangas (*Mangifera indica* L.) produzidas no Brasil.** 2006. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARD, A.J., FAULKNER, L.R. **Electrochemical methods: fundamentals and applications.** USA, 2ª ed, pp. 460, 2001.

BARRETO, J. C.; TREVISAN, M. T. S.; HULL, W. E.; ERBEN, G.; de BRITO, E. S.; PFUNDSTEIN, B.; WARTHELE, G.; SPIEGELHALDER; OWEN, R. W. **Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.).** Journal of Agricultural and Food Chemistry, Easton, 2008. 56. pp. 5599-5610.

BARROS, I. B., MOSCOSO, H. Z. L., CUSTODIO, D. L., VEIGA JUNIOR, V. F.; BASTOS, I. N, **Casca Preciosa (*Aniba canelilla*) como Inibidor de Corrosão do Aço-Carbono.** Revista Virtual de Química – RVQ, v. 06. n. 2, Disponível em: <http://www.uff.br/rvq>, 2015.

BOUMHARA, K., TABYAOU, M., JAMA, C., BENTISS, F. **“Artemisia Mesatlantica essential oil as green inhibitor for carbon steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and XPS investigations”**, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 29, pp. 146–155, 2015.

BOUYANZER, L.; MAJIDI, B.; Hammouti. **Physical Chemistry News.** 37 (2007) 70–74.

CANG, H.; FEI, Z.; XIAO, H.; HUANG, J.; XU, Q. **Inhibition effect of reed leaves extract on steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions.** *International Journal of Electrochemical Science*, 2012, 7, 8869. [Link]

CANUTO, K. M. “**Propriedades Químicas e Farmacológicas de Mangiferina: Um Composto Bioativo de Manga (*Mangifera indica* L.).**”, Embrapa, v. 21, pp. 218, 2009.

CAO, G.; LIANG, C. **Some β -amino alcohols compounds as green volatile corrosion inhibitors for brass.** *Journal of The Electrochemical Society*, 2007, 154, 144. [CrossRef]

CARDOSO, C. R. P. **Atividade mutagênica e ativadora da resposta imune celular induzidas por *Byrsonima crassa* e *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae).** Araraquara, 2006 (*Dissertação de Mestrado*), Universidade Estadual Paulista, Brasil.

CARDOSO, S. P.; REIS, F. A.; MASSAPUST, F. C.; COSTA, J. F.; TEBALDI, L. S.; ARAÚJO, L. F. L.; SILVA, M. V. A.; OLIVEIRA, T. S.; GOMES, J. A. C. P.; HOLLAUER, E. **Semicarbazonas e tiosemicarbazonas: o amplo perfil farmacológico e usos clínicos.** *Química Nova*, 2004, 27, 461. [CrossRef]

CHAIEB, E.; BOUYANZER, A.; HAMMOUTI, B.; BENKADDOUR, M. **Inhibition of the corrosion of steel in 1 M HCl by eugenol derivatives.** *Applied Surface Science*, 2005. 246, 199. [CrossRef]

COUTO FILHO, C. C. C., SILVA FILHO, J. C., NEIVA JÚNIOR, A. P., FREITAS, R. T. F., SOUZA, R. M., NUNES, J. A. R. **Qualidade da silagem de resíduo de manga com diferentes aditivos.** *Ciência Agrotecnica*, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1537-1544, 2007.

DAHMANI, M.; ET-TOUHAMI, A.; AL-DEYAB, S. S.; HAMMOUTI, B.; BOUYANZER, A. **Corrosion inhibition of C38 steel in 1 M HCl: a comparative study of black pepper extract and its isolated piperine.** *International Journal of Electrochemical Science*, 2010, 5, 1060. [Link]

DAMBORENEA, J.; BASTIDAS, J. M.; VAQUEZ, A. J. **Adsorption and inhibitive properties of four primary aliphatic amines on mild steel in 2 M hydrochloric acid.** *Electrochimica Acta*, 1997, 42, 455. [CrossRef]

DEFLORIAN, F., et al. “**Study of the effect of corrosion inhibitors on powder coatings applied on steel**”, *Progress in Organic Coatings*, V.77, pp. 2133 – 2139, 2014.

EDDY, N.O., ODOEMELAM, S.A., “**Inhibition of the corrosion of mild steel in HCl by sparfloxacin.**” *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, v. 2, pp. 132-138, 2008.

EDDY, N.O., EBENSO, E.E. “**Adsorption and inhibitive properties of ethanol extracts of *Musa sapientum* peels as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄**”, *Afr. J. Pure Appl. Chem.*, v. 2, pp.46-54, 2008.

EDSON A. TICIANELLI, ERNESTO R. GONZALEZ. **Eletroquímica: princípios e aplicações**, São Paulo: Editora Edusp, 2ª ed, pp.1, 2013.

EL-ASHRY, E.H., EL-NEMIR, A., ESAWY, S.A., RAGAB, S., “**Corrosion inhibitors part II: quantum chemical studies on the corrosion inhibitions of steel in acidic medium by**

some triazole, oxadiazole and thiadiazole derivatives”, *Electrochimica Acta*, v.51, pp.3957-3968, 2006.

EL HAMDANI, N., FDIL, R., TOURABI, M., JAMA, C., BENTISS, F. **Alkaloids extract of *Retama monosperma* (L.) Boiss. seeds used as noveleco-friendly inhibitor for carbon steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and surface studies.**, *Applied Surface Science*, v. 357, pp. 1294–1305, 2015.

FASKA, Z.; BELLIOUA, A.; BOUKLAH, M.; MAJIDI, L.; FIHI, R.; BOUYANZER, A.; HAMMOUTI, B. **Effect of pulegone and pulegone oxide on the corrosion of steel in 1M HCl.** *Monatshefte fur Chemie* 2008, 139, 1417. [CrossRef]

FERREIRA, E. S.; GIACOMELLI, C.; GIACOMELLI, F. C.; SPINELLI, A. **Evaluation of the inhibitor effect of L-ascorbic acid on the corrosion of mild steel.** *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 83, 129. [CrossRef]

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 18 abr. 2013.

FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. **A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos.** *Revista Virtual Química*., 2014, 6 (2), 293-309. Data de publicação na Web: 20 de dezembro de 2013. <http://www.uff.br/rvq>

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 6ª. Ed, pp. 360, 2013.

GOMES, R. P. **Fruticultura Brasileira**. São Paulo, *Revista Nobel*, 1973. p. 448.

GRANESE, S. L.; ROSALES, B. M.; OVIDEO, C.; ZERLINO, J. O. **The inhibition action of heterocyclic nitrogen organic compounds on Fe and steel in HCl media.** *Corrosion Science* 1992, 33, 1439. [CrossRef]

HOLLAUER, E.; CARDOSO, S. P.; REIS, F. A.; MASSAPUST, C.; COSTA, J. F.; TEBALDI, L. S.; ARAÚJO, L. F. L.; SILVA, M. V. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; GOMES, J. A. C. P. **Avaliação de indicadores de uso diverso como inibidores de corrosão.** *Química Nova*. 2005, 28, 756. [CrossRef]

KHALED, K. F. **Application of electrochemical frequency modulation for monitoring corrosion and corrosion inhibition of iron by some indole derivatives in molar hydrochloric acid.** *Materials Chemistry and Physics* 2008, 112, 290. [CrossRef]

KODAMA, A. L.; HOTSUMI, T. N.; **Investigação e Caracterização de Produtos Naturais como Inibidores de Corrosão Atóxicos para Aço Carbono em meio de Ácido Clorídrico.** In: Dissertação apresentada para o programa de pós-graduação em Engenharia Química. 2011, USP, Engenharia Química.

LEITE, N. R.; MILITÃO, R. A. **Tipos e aplicações de caldeiras. Fabricação e Montagem de Caldeiras e Trocadores de Calor.** Escola Politécnica – Deptº de Engenharia Mecânica EPUSP-PROMIMP, 2008. Disponível em. Acesso em 14/08/2016.

LIZADA, M.; SEYMOR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. London, 1993. 8. pp. 255-271.

MACDONALD, J.R. **Impedance spectroscopy – emphasizing solid materials and systems**. New York: Wiley-interscience, 1^a. Ed, 1987, pp. 245.

MAINIER, F. B. **Material do curso “Corrosão e Inibidores”**. In: Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. [Link]

MAINIER, F. B.; SANDRES, G. C.; TAVARES, S. S. M.; **8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica**, Cuzco, Peru, 2007. [Link]

MANICA, I. **Fruticultura tropical: manga**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1981. 2. p.160.

MARANCA, G. **Fruticultura Comercial, Manga – Abacate**. 5. ed. São Paulo: Editora Livraria Nobel, 1983. 139p.

MUKHERJEE, P. K.; KUMAR, V.; MAL, M. HOUGHTON, P. J. **Acetylcholinesterase inhibitors from plants**. *Phytomedicine*, 2007. 14. pp.289-300.

NÚNES-SELLÉS, A. J.; CASTRO, H. T. V.; AGUERO-AGUERO, GOLZÁLES-GONZÁLES, J.; NADDEO, F.; DE SIMONE, F.; RASTRELLI, L. **Isolation and Quantitative Analysis of Phenolic Antioxidants, Free Sugars, and Polyols from Mango (*Mangifera indica* L.) Stem Bark Aqueous Decoction Used in Cuba as a Nutritional Supplement**. *Jornal Agriculture and Food Chemistry*., v.50, p.762-766, 2002.

ORMELLESE, M.; LAZZARI, L.; GOIDANICH, S.; FUMAGALLI, G.; BRENNIA, A. **A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete**. *Corrosion Science* 2009, 51, 2959. [CrossRef]

PANIZZA S. **Plantas que curam: cheiro de mato**. 17. ed. São Paulo. IBRASA, 1997. pp. 152-153.

PANNONI, F. D.; GASPAR, C., VICENTIN, A.; **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio (Coletânea do Uso do Aço)**, 4a. ed. Perfis GERDAU Açominas, 2007. [Link]

PELEGRINE, D.H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi**. (Dissertação de Mestrado), 1999. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PINTO, A.C.Q.; ANDRADE, S.R.M.; RAMOS, V.H.V.; CORDEIRO, M.C.R. **Intervarietal hybridization in mango (*Mangifera indica* L.): techniques, main results and their limitations**. *Acta Horticulture*, Wageningen, 2004. 64(1). pp. 327-330.

PLIETH, W. **The inhibition action of heterocyclic nitrogen organic compounds on Fe and steel in HCl media**. *Electrochimica Acta* 1992, 37, 2115. [CrossRef]

POPOOLA, A. P I.; ABDULWAHAB, M.; FAYOMI, O. S. I. **Corrosion inhibition of mild steel in *Sesamum indicum* -2M HCl/H₂SO₄ interface**. *International Journal of Electrochemical Science* 2012, 7, 5805. [Link]

QURAIISHI, M.A., et al. **“Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves.”**, Materials Chemistry and Physics, v. 122, pp. 114-122, 2010.

RAJA, P.B.; SETHURAMAN, M.G. **Atropine sulphate as corrosion inhibitor for mildsteel in sulphuric acid medium**, Material. Lettar. 62 (2008) 1602–1604.

RAMANATHAN, L.V. **Corrosão e Seu Controle**. 1ª ed, São Paulo, Ed. Hemus, 1988.

RICHARDSON, P. M., **“The taxonomic significance of C-glycosylxanthones in flowering plants”**, Biochemical Systematics and Ecology, Oxford, v. 11, pp. 371-375, 1983.

RIVERA, D. G., BALMASEDA, I. H. **Anti-alergic properties of *Mangifera indica* L. extract (Vimang) and contribution of its glucosilxanthone mangiferin**. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2006. 58. pp. 385-392.

RODRIGUEZ-CLEMENTE, E.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, J. G.; VALLADAREZ, G.; DOMINGUEZ-PATÍÑO, G. F. **Corrosion inhibition of carbono steel in H₂SO₄ by *Chenopodium ambrosioides***. *International Journal of Electrochemical Science* 2011, 6, 6360. [Link]

ROSS, S. A.; SULTANA, G. N.; BURANDT, C. L.; ELSOHLY, M. A.; MARAIS, P. J. FERREIRA, D. **Syncarpamide, a New Antiplasmodial (+) - Norepinephrine Derivative from *Zanthoxylum syncarpum***. Natural Production, 2004. 67. pp.88-90.

SAFAK, S.; DURAN, B.; YURT. A. TÜRKOGLU, G. **Schiff bases as corrosion inhibitor for aluminium in HCl solution**. *Corrosion Science* 2012, 54, 251. [CrossRef]

SAMPAIO, C. G. et al. **“Chitosan/mangiferin particles for Cr(VI) reduction and removal.”**, International Journal of Biological Macromolecules, v. 78, pp. 273–279, 2015.

SANTOS, A. V.; ABREU, I. F.; MALTA, M., **Investigação da Influência da quantidade de anilina na estabilidade térmica do nanohíbrido de MoO₃/PAni por TG-DTA**. 11. ed. CBRATEC, 2008.

SETHURAN, M.G., RAJA, P.B., **“Corrosion Inhibition of Mild Steel by *Datura Metel* in Acidic Medium”**. Pigm. Resin Technol, v. 34, pp. 327-331, 2006.

SHABANI-NOOSHABADI, M., GHANDCHI. M. S. ***Santolina chamaecyparissus* extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 3.5% NaCl**, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 31, pp. 231–237, 2015.

SILVA, A.L.C.; MEI, P.R. **Aços e ligas especiais**. 2ª. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, pp. 646, 2006.

SIMÃO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba : FEALQ, 1998. 760p.

SOUZA, E.D. **Análise de corrosão por meio de perda de massa e espessura em aços pela ação da água produzida de poços petrolíferos**. In: Dissertação (mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Departamento de Engenharia e Ciências de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, 2010.

SOUZA FILHO, J. E.; **Material de aula: Processamento primário de fluidos: separação e tratamento**. Universidade Petrobrás, Salvador, 2002.

TICIANELLI, E. A., GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica: princípios e aplicações**, São Paulo, Editora Edusp, 2 ed, pp.1, 2013.

VITTI, A. **Análise da competitividade das exportações brasileiras de frutas selecionadas no mercado internacional**. 2009. 106 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

VRACAR, L. M, DRAZIC, D. M. **Adsorption and corrosion inhibitive properties of some organic molecules on iron electrode in sulfuric acid**. Corrosion Science, v. 44, pp.1669, 2002.

YADAV, M., SARKAR, T.K., PURKAIT, T. **“Amino acid compounds as eco-friendly corrosion inhibitor for N80 steel in HCl solution: Electrochemical and theoretical approaches”**, Journal of Molecular Liquids, v. 212, pp. 731–739, 2015.