



PRISCILA VELOSO NOGUEIRA SOARES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS E
FIXOS COMO INIBIDOR DE CORROSÃO NA PRESENÇA DE
METAIS.**

São Luís

01/2022

PRISCILA VELOSO NOGUEIRA SOARES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS E
FIXOS COMO INIBIDOR DE CORROSÃO NA PRESENÇA DE
METAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues

São Luís

01/2022

Soares, Priscila Veloso Nogueira.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ÓLEOS ESSENCIAIS E FIXOS
COMO INIBIDOR DE CORROSÃO NA PRESENÇA DE METAIS / Priscila
Veloso Nogueira Soares. - 2022.

43 p.

Orientador(a): José Roberto Pereira Rodrigues.

Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do
Maranhão, São Luis, 2022.

1. Eficiência de inibição. 2. Inibidores de corrosão.
3. Materiais metálicos. 4. Perda de massa. I.
Rodrigues, José Roberto Pereira. II. Título.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PEREIRA RODRIGUES
Orientador – COEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. GILVAN DE OLIVEIRA COSTA DIAS
DEQUI/CCET/UFMA

Prof. Dr. JEAN ROBERT PEREIRA RODRIGUES
DEMP//UEMA

25 de janeiro de 2022

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, em especial a minha avó Totonha, aos meu pais Henrique e Rosi e ao meu tio Sousa por não deixarem faltar nada para mim, pela confiança, incentivo, orientação e auxílio.

Ao Prof. Dr. José Roberto P. Rodrigues, por ter aceitado ser meu orientador nessa pesquisa e que durante esses seis meses me acompanhou, dando todo auxílio necessário para realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Gerardo Magela que disponibilizou seu laboratório para a realização de algumas análises e a todos que fazem parte do Laboratório de Produtos Naturais (LPN) que sempre se mostraram disponíveis para me auxiliar em quaisquer dúvidas existentes.

Aos meus irmãos, Mariana, Andressa e Pedro Neto e ao meu cunhado Marcus Artur que estiveram sempre presentes nos momentos alegres e tristes, sendo fonte contínua de motivação, apoio e incentivo.

A minha tia Lourdes Vieira por ter me recebido de braços abertos em sua casa assim que cheguei em São Luís. Agradeço ainda ao meu primo Glauco Coutinho, pelo acolhimento em sua casa, as partidas de Ps4 e por todas as vezes que me buscava para espairer a mente durante esses anos de curso, e também a sua esposa Aline Lisboa por ser sempre acolhedora.

Agradeço aos colegas de classe que fizeram parte dessa trajetória, e por sempre nos ajudarmos mesmo que aos trancos e barrancos. Especialmente aos colegas de truço que tornaram os últimos períodos mais leves Luís Felipe, Ivailson, Manu, Pedro, Glauberthy, Mona, Gustavo, Vinícius, Lailson, Carla e Jessica.

E principalmente a Deus por sempre estar comigo, pela oportunidade de aprendizado, pelo privilégio, pela força de vontade e coragem para realizar esse sonho meu e da minha família. Ele é meu amigo incondicional e maior ouvinte.

“Nós somos o que repetidamente fazemos. A excelência, então, não é um ato, mas um hábito”

Aristóteles

RESUMO

A vida útil e excesso de manutenção em equipamentos industriais são, em sua maioria, comprometidos por fatores corrosivos, corrosão essa que ocasiona prejuízos de milhões anuais as indústrias. O presente trabalho teve como propósito principal avaliar o comportamento de óleos essenciais e fixos em relação a materiais metálicos (cobre, alumínio e aço carbono). Para avaliar o desempenho destas substâncias como inibidores foi aplicado o método da perda de massa, sendo as eficiências de inibição resultantes as principais variáveis empregadas na comparação. Os inibidores foram testados em soluções aquosas de cloreto de sódio à temperatura ambiente. Os óleos fixos, puros, adquiridos comercialmente e os óleos essenciais foram obtidos através de hidrodestilação. Não houve perda de massa nas amostras de alumínio, nas amostras de cobre foi insignificante a perda quando imersa em mamona sendo de 0,0008g, enquanto em citronela perdeu 0,06g; nas amostras de aço carbono houve uma perda de 0,1g quando imersa em citronela. A taxa de corrosão de 0,0016mm/ano para citronela e 0,0003mm/ano para eucalipto nas amostras de cobre, e uma taxa de 0,00020mm/ano na citronela, já na imersa em mamona não ultrapassou 0,00025mm/ano. O óleo de mamona superou todos os outros tanto nas amostras de cobre como nas de aço carbono, apresentando uma eficiência de inibição máxima de 97,45% em cobre e 80% em aço carbono.

Palavras chave: Inibidores de corrosão. Materiais metálicos. Perda de massa. Eficiência de inibição.

ABSTRACT

The industrial equipments lifespan and maintenance excesses are, in the most part, compromised by corrosive factors, this corrosion can cause annually millions in losses to the industries. This academic work principal purpose is to evaluate the behaviour of essential and fixed oils on metallic materials (copper, aluminum and carbon steel). To analyze and evaluate these substances performance, was applied the mass loss method being the resulting inhibition efficiencies the main variables employed in this comparison. The inhibitors were tested on sodium chloride aqueous solutions at room temperature. The pure fixed oils commercially acquired were obtained through hydrodistillation. There was no loss of mass in the aluminum samples, in copper samples, the loss when immersed in castor bean was insignificant, being 0.0008g while in citronella it lost 0.06g; in carbon steel samples there was a loss of 0.1g when immersed in citronella. The corrosion rate of 0.0016mm/year for citronella and 0.0003mm/year for eucalyptus in copper samples, it reached a rate of 0.00020mm/year in citronella, while immersed in castor bean it did not exceed 0.000025mm/year. Castor oil outperformed all others in both copper and carbon steel samples, showing a maximum inhibition efficiency of 97.45% in copper and 80% in carbon steel.

Keywords: Corrosion inhibitors. Metallic materials. Mass loss. Inhibition efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Formas de corrosão	4
Figura 2- Fórmula estrutural do ácido láurico	9
Figura 3- Estrutura triglicéridica do ácido ricinoleico	10
Figura 4- Componentes majoritários do óleo de eucalipto	11
Figura 5- Folha de capim citronela.....	12
Figura 6- Fórmulas estruturais do citronelal e geraniol.....	12
Figura 7- Materiais metálicos usados nos ensaios de corrosividade. A) Lâminas de cobre, B) Lâminas de alumínio e C) Lâminas de aço carbono.....	13
Figura 8- Folhas de capim citronela (esquerda) e de eucalipto (direita) selecionadas	14
Figura 9- Aparelho de Clevenger contendo capim citronela	14
Figura 10- Processo de purificação do óleo babaçu (A) e óleo de mamona (B)	15
Figura 11- Óleos essenciais E e C e óleos fixos M e B após procedimentos.....	15
Figura 12- Amostras de cobre em mamona, babaçu, citronela e eucalipto, dia 0	17
Figura 13- Amostras de cobre em mamona, citronela, babaçu e eucalipto, dia 60.....	18
Figura 14- Amostras de cobre em babaçu, citronela, eucalipto e mamona, dia 120.....	18
Figura 15- Lâminas de cobre após 120 dias de imersão, limpas	19
Figura 16- Lâminas de alumínio em contato com óleo de mamona, babaçu, citronela e eucalipto, dia 0	19
Figura 17- Amostras de alumínio em babaçu, mamona, eucalipto e citronela, dia 60	19
Figura 18- Amostras de alumínio com NaCl em eucalipto, citronela, babaçu e mamona, dia 120	20
Figura 19- Lâminas de alumínio, limpas, após 120 dias.....	20
Figura 20- Amostras de aço em mamona e citronela, dia 0	21
Figura 21- Amostras de aço em mamona e citronela, dia 30	21
Figura 22- Lâminas de aço retiradas dos óleos de mamona e citronela após 120 dias.....	21
Figura 23- Lâminas de aço após 120 dias de imersão total em NaCl e óleo, limpas	22
Figura 24- Taxa de corrosão do cobre imerso em cloreto de sódio e óleos.....	23
Figura 25- Taxa de corrosão do aço imerso em cloreto de sódio e óleos	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dimensionamento dos materiais	13
Tabela 2 – Perda de massa cobre mediante os óleos e após a inserção do NaCl.....	18
Tabela 3 – Perda de massa de alumínio mediante os óleos e após a inserção do NaCl.....	20
Tabela 4 – Perda de massa do aço mediante os óleos e NaCl	22
Tabela 5 – Eficiência de inibição dos óleos estudados	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NaCl	Cloreto de Sódio
pH	Potencial Hidrogeniônico
M	Mamona
B	Babaçu
C	Citronela
E	Eucalipto
EI	Eficiência de Inibição
PM	Perda de Massa
TC	Taxa de Corrosão
SiC	Carbonato de Silício

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	iii
AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
SUMÁRIO	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
2.1. Objetivo geral	2
2.2. Objetivo específico	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Corrosão	3
31 . Formas de corrosão	3
32 . Meios corrosivos	5
3.2. Cobre	5
3.3. Alumínio	6
3.4. Aço carbono	6
3.5. Inibidores de corrosão	7
3.5.1. Método e avaliação do desempenho	7
3.6. Óleos	8
31 . Óleo de babaçu	8
32 . Óleo de mamona	10
33 . Óleo de eucalipto	11
34 . Óleo de citronela	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1. Local da pesquisa	13
4.2. Materiais	13
4.3. Obtenção dos extratos	14
4.4. Medições de perda de massa	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
5.1. Resultados experimentais de imersão e perda de massa	17
51 . Cobre	17
52 . Alumínio	19
5.1.3. Aço	20
5.2. Resultados experimentais de taxa de corrosão	22
5.3. Resultados experimentais de eficiência inibitória	24
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

Considerando a importância de preservar e aumentar a vida útil dos maquinários e peças metálicas, pesquisas sobre os processos corrosivos e a busca por métodos mais eficientes e adequados de proteger e controlar recebem cada dia mais destaque e importância.

Muito comum nos materiais metálicos, a corrosão é um processo espontâneo que acarreta a degradação de peças metálicas levando a significativos gastos que envolvem desde a manutenção, até a troca de peças; desgaste, perda de massa, variações químicas, modificações estruturais, a contaminação de produtos, paralisações e risco de acidentes com perda de vida humana (GENTIL, 2011).

O conhecimento e as análises sobre os antecedentes da corrosão permitem delimitar e priorizar as ações corretivas e preventivas. A vida útil dos equipamentos e dos materiais metálicos podem ser definidas através de uma análise estatística do histórico corrosivo.

Materiais metálicos como aço carbono, cobre e alumínio, estão inseridos em diferentes sistemas como de refrigeração, tubulações industriais, condutores elétricos, utensílios domésticos que estão em constante exposição a atmosfera, e podem se degradar ao longo do tempo, esta degradação é capaz de inutilizar o equipamento, pois pode afetar sua resistência e sua performance.

Diversos são os métodos de prevenção e controle disponíveis para uso. A seleção do método deve ser feita levando-se em consideração o custo de sua implantação, o meio corrosivo, as condições operacionais e a natureza do metal. Dentre os métodos existentes destaca-se o uso dos inibidores de corrosão, substâncias que, ao serem adicionadas ao sistema, modificam a velocidade do processo corrosivo, podendo atuar na redução da velocidade das reações anódicas ou catódicas, na redução da velocidade de difusão dos reagentes até a superfície metálica ou na diminuição da resistência elétrica na superfície do metal (ALENCAR et al., 2013).

Os inibidores aplicados para prevenir a corrosão tem se destacado devido ao baixo custo e praticidade, uma vez que, quando aplicados em condições adequadas, estes elementos podem até mesmo eliminar o processo corrosivo (SASTRI, 2011; DARIVA e GALIO, 2014). Sua atuação depende do tipo e da natureza dos inibidores, sendo utilizados em caldeiras, unidades de refinaria, banhos de decapagem ácida e refrigeração. A vantagem de os inibidores estar na facilidade de serem empregados em diversos meios corrosivos, normalmente em pequena concentração, sendo de fácil aplicação e fácil retirada do sistema, inclusive em equipamentos ou tubulações já em uso, sem atrapalhar ou modificar o processo.

Os inibidores corrosivos convencionais possuem elevada toxicidade contendo fosfatos, cromatos, acarretando danos ao meio ambiente e aos seres vivos (NEGM et al., 2013). Portanto, é importante se estudar alternativas menos agressivas ao meio ambiente e aos seres vivos, fazendo dos inibidores verdes possibilidades promissoras por serem biodegradáveis e não conter metais pesados.

Os inibidores de corrosão podem ser oriundos de óleos naturais extraídos de plantas e frutos, estes podem ser voláteis ou fixos. Os óleos voláteis são compostos secundários produzidos por algumas plantas para sua proteção (TAIZ; ZEIGER, 2006). Os óleos fixos são elementos energéticos e estão associados a proteínas e carboidratos, denominados genericamente de lipídios (NEVES et al., 2015).

Sabendo dos danos ambientais e aos seres vivos ocasionados pelos inibidores convencionais, o interesse desse projeto é estudar a ação inibitória e estabelecer uma comparação de alguns óleos naturais na corrosão do aço carbono, alumínio e cobre em meio salino, avaliando as vantagens e as desvantagens da aplicação de cada um deles.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de óleos essenciais e fixos como inibidor de corrosão na presença de materiais metálicos.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Extrair óleos essenciais de eucalipto e citronela a partir da hidrodestilação;
- Analisar a perda de massa dos materiais ao longo do tempo, à temperatura ambiente;
- Apresentar a influência do meio salino na perda de massa durante o tempo de imersão antes e após a inserção dos inibidores;
- Executar ensaios de avaliação de desempenho de eficiência dos óleos essenciais e dos fixos diante dos metais;
- Monitorar o comportamento dos óleos essenciais (eucalipto e citronela) e fixos (mamona e babaçu) em relação a corrosão de aço carbono, cobre e alumínio em solução de cloreto de sódio.
- Comparar o potencial antioxidante dos óleos frente a cada material metálico testado;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CORROSÃO

A corrosão pode ser entendida como a deterioração de um material, normalmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A interação físico-química entre o material e seu meio operacional motiva a deterioração, causando alterações prejudiciais indesejáveis ao material, como desgaste ou modificações estruturais, tornando-o inadequado ao uso (GENTIL, 2011).

O processo de corrosão envolve a indústria, a infraestrutura e o patrimônio cultural simultaneamente. Nenhum setor fica de fora: energia, transporte, alimentos e bebidas, petróleo e gás, farmacêutico, maquinário, engenharia civil, químico. Corrosão atinge metal e estruturas de concreto reforçados, dutos de transporte de hidrocarbonetos e água, e infraestrutura de transporte naval, pontes, cais, estruturas offshore, produtos químicos, usinas e reatores nucleares, usinas de energia, dispositivos eletrônicos, implantes corporais, patrimônio cultural, artefatos e muito mais (PEDEFERRI, 2018).

A vida útil e excesso de manutenção em equipamentos industriais são, em sua maioria, comprometidos por fatores corrosivos, corrosão essa que ocasiona prejuízos de milhões anuais às indústrias. Os processos corrosivos geram impactos econômicos principalmente devido à substituição e reparos de estruturas e equipamentos (CAINES et al., 2017). Um estudo recente da empresa norte-americana CCTechnologies mostra o impacto da corrosão do aço na economia. A pesquisa avaliou que entre 1% e 5% do PIB dos países é consumido pela corrosão. No Brasil, o número é de 4%, o equivalente a R\$ 236 bilhões em 2015, conforme divulgou a entidade International Zinc Association (IZA), com apoio da USP (SANTO, 2017).

Li et al. (2018) detectaram que a qualidade da água potável pode ser prejudicada devido à geração de resíduos metálicos provenientes de processos corrosivos nos sistemas de distribuição, comprometendo a saúde dos consumidores.

Compreender os custos exatos da corrosão tem sido de grande interesse para cientistas e engenheiros por muitas décadas. Pedferri (2018) em seu livro “Corrosion Science and Enginnering”, relata que o custo da corrosão pode ser determinado pela soma dos custos diretos (os custos de componentes danificados e custos de substituição, custos do método de prevenção - por exemplo, revestimentos de proteção, proteção catódica, tolerância à corrosão ou redundante soluções, materiais resistentes à corrosão) e custos indiretos (produção custos de perda, custos relacionados à poluição, perda de imagem e assim por diante) que também abrangem custos não quantificáveis, como a perda de vidas humanas em caso de falhas catastróficas. Pedferri (2018) defende que os custos indiretos costumam ser difíceis de avaliar e podem exceder os custos diretos.

3.1.1. Formas de corrosão

As formas de corrosão podem ser apresentadas considerando-se a aparência, forma de ataque, suas diferentes causas e seus mecanismos. A caracterização da forma de corrosão auxilia no esclarecimento e na aplicação de medidas adequadas para a sua proteção (GENTIL, 2011).

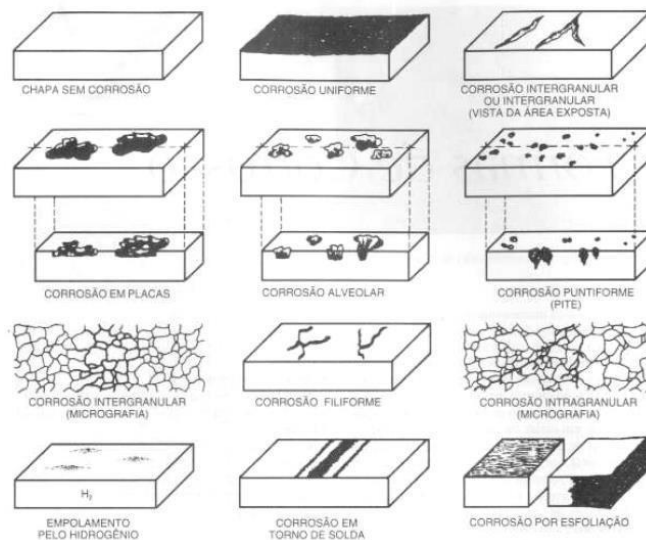
A corrosão eletroquímica (meio aquoso), é a mais comum apresentando 90% dos casos de corrosão, e ocorre devido a existência de uma diferença de potencial entre os materiais, desenvolvendo um fluxo de corrente elétrica e transferência de elétrons que se difundem através da superfície metálica migrando da área anódica (oxidação) para a catódica (redução) gerando produtos como óxidos, hidróxidos, sais e outros (WOLYNEC, 2003).

Por conseguir se manifestar de múltiplas formas, se torna necessário identificar o tipo de corrosão a fim de elaborar um tratamento recuperativo ou descarte do material. Algumas

formas e ilustração (Figura 1) da corrosão descritas por Gentil (2011) são apresentadas a seguir, sendo elas:

- Uniforme: ocorre por toda superfície metálica, provocando desgaste homogêneo, e a velocidade com que progride, por ser uniforme, pode ser estimada.
- Intergranular: rachaduras que se manifestam em torno do grão da rede cristalina, diminuindo a resistência mecânica, podendo ocorrer fratura sob tensão;
- Por placas: Se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações;
- Alveolar: desgaste localizado em formato de alvéolos, com diâmetro maior que a profundidade;
- Pites ou puntiforme: desgaste localizado profundo, com profundidade maior que o diâmetro;
- Filiforme: processa-se sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções;
- Intragranular: rachaduras que ocorrem no interior do grão da rede cristalina.
- Empolamento por hidrogênio: apresenta-se devido ao alojamento de hidrogênio atômico em poros e cavidades do metal, gerando bolhas;
- Em torno do cordão de solda: Ocorre em aços com teores de carbono acima de 0,03% e está localizado em torno do cordão de solda.
- Esfoliação: Acontece de forma paralela à superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos achatados e alongados, criando regiões de inclusão no material;
- Grafítica: Ocorre no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente onde o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando a grafita intacta.
- Sob tensão: ocorre simultaneamente a um estado de tensão e a um meio corrosivo específico;
- Por frestas: acontece em função da diferença da concentração de íons ou gases dissolvidos na concentração eletrolítica entre duas regiões na mesma peça;
- Corrosão-erosão: devido ao desgaste contínuo de camadas protetoras do metal;
- Dezincificação: consiste na migração do zinco, ficando a liga reduzida a um material esponjoso, constituído de cobre quase puro e sem qualquer resistência mecânica;
- Microbiológica: devido à micro-organismos que metabolizam determinadas substâncias e excretam ácidos como produtos metabólicos, atacando assim os metais.

Figura 1- Formas de corrosão



Fonte: Gentil (2011).

3.1.2. Meios corrosivos

Os meios corrosivos mais recorrentes são: atmosfera, águas naturais, solo, água do mar e produtos químicos e, em menor escala, alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, madeiras e plásticos (GENTIL, 2011). É importante ressaltar que um meio pode ser excessivamente agressivo, do ponto de vista corrosivo, para um determinado material e inofensivo para outro.

Os fenômenos corrosivos de metais apresentam uma amplitude de mecanismos que, no entanto, podem ser reunidos em quatro grupos, nos quais, entre parênteses, está exibida, a incidência de cada um dos tipos de corrosão: corrosão em meios aquosos (90%); oxidação e corrosão quente (8%); corrosão em meios orgânicos (1,8%) e corrosão por metais líquidos (0,2%). Percebe-se, então, que a corrosão em meios aquosos é a mais comum, uma vez que a maioria dos fenômenos de corrosão ocorre no meio ambiente, no qual a água é o principal solvente (WOLYNEC, 2003).

3.2. COBRE

O cobre é um metal de transição com coloração avermelhada relativamente raro que, na natureza, encontra-se em estado sólido.

Estima-se ser o primeiro metal utilizado pelo homem em substituição a pedra em confecção de ferramentas de trabalho, de armas, de objetos de decoração, encontraram peças feitas com cobre datadas de 8.700 a.C (ABCOBRE,2021). O cobre pode ser encontrado na natureza em compostos minerais como: calcocita (Cu_2S), calcopirita (CuFeS_2), azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) e malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), entre outros. Normalmente, o cobre é usado na forma pura, mas pode ser combinado com outros metais na forma de ligas (ABCOBRE,2021).

Esse elemento químico apresenta vantagens primordiais para sua aplicabilidade na indústria, pois é maleável, excelente condutor elétrico e térmico, é antimicrobiano, apresenta uma elevada resistência mecânica e boa resistência a corrosão, é dúctil e um dos metais mais sustentáveis e recicláveis.

As aplicações mais comuns do cobre são: rolos condutores, cilindros laminados, colos de rolamentos, motores termoelétricos, tubos multicamadas e sistemas hidráulicos. No entanto, há estudos que comprovam sua utilização na eficiência energética e no desenvolvimento sustentável.

Segundo a ABCOBRE (2020), em mercados como antimicrobiano, agricultura, propulsão elétrica, energia sísmica, os componentes produzidos ou revestidos com cobre ultra-condutor e veículos elétricos, foram os mais propensos ao crescimento no ano de 2020 e nos próximos anos. A produção de fios de cobre chegou a 63% no ano de 2019 mostrando que sua empregabilidade como condutor elétrico aumenta a cada ano, seguido da produção de tubos e estruturados (chapas, folhas e tiras) confeccionados de cobre que representam 12% da sua utilização primária; sua aplicação ultrapassa os 30% em equipamentos eletrônicos e chega a 28% na construção civil (tubos em sistemas de gás e água), e é menos de 15% seu aproveitamento na indústria.

O principal problema de corrosão do cobre é sua oxidação pelo oxigênio. Sua coloração vermelho salmão se transforma em vermelho violeta e, na sequência, adquire um tom negro; se exposto ao ar úmido, o cobre forma uma capa aderente e impermeável de carbonato básico de coloração verde (ABCOBRE, 2020).

3.3. ALUMÍNIO

O alumínio é o metal mais produzido depois do aço (BROWN,2018). O alumínio está sendo usado para substituir componentes de aço, principalmente nas indústrias aeroespacial e automotiva. É relatado que para cada quilograma de alumínio que substitui o aço carbono, aço de alta resistência e ferro fundido evita-se de 13 a 20 kg de emissões de gases do efeito estufa (LIU; MULLER, 2012).

O alumínio não está disponível na forma metálica, mas na forma de óxidos ou de silicatos. Os óxidos de alumínio podem ser encontrados em muitas rochas, argilas e outros minerais, mas sua obtenção a partir dessas matérias-primas não apresenta viabilidade econômica quando comparadas com a bauxita, principal fonte de obtenção de alumínio metálico (FONTANA, 2007). A bauxita é um minério constituído por um complexo de óxidos metálicos, predominantemente oxi-hidróxidos de alumínio com teores de 35% a 55% de alumina (Al_2O_3), formada pela erosão de rochas ricas neste elemento como a nefelina, feldspato, serpentina, argilas, entres outras (SAMPAIO et al., 2005).

Uma das características primordiais do alumínio puro é sua resistência à corrosão, e ao formar ligas o metal pode ter essa propriedade diminuída. Quando o alumínio é exposto à atmosfera ocorre uma reação de oxidação formando uma película que o protege contra a corrosão. O alumínio é resistente ao desgaste e contra muitos ácidos, no entanto quando exposto a um meio agressivo com cloreto, o óxido pode ser rompido e ocorrer à corrosão (DIAZ et al., 2009).

A resistência à corrosão do alumínio dispõe de uma dependência, forte, com o pH. Valores de pH extremos, menores que 4,0 ou maiores que 9,0 diminuem drasticamente a sua resistência, principalmente em soluções alcalinas ou na presença de íons cloretos, os quais dissolvem a camada de óxido protetora (DOS SANTOS, 2011).

Quando ocorre processo corrosivo na superfície metálica do alumínio é de forma localizada, com formação de pites, não se manifestando sobre toda a superfície (RIEDER et al., 2009). A corrosão no alumínio consiste em um sítio de corrosão ativa que possui uma região anódica e outra catódica em contato elétrico contínuo, na presença de um eletrólito (DOS SANTOS, 2011).

Durante a corrosão do alumínio diversas variáveis são levadas em conta, que incluem ambiente, temperatura de liga metálica em questão, velocidades de fluxo, impurezas presentes no ambiente e as condições da química à qual está exposto. Outro fator que afeta a corrosão do alumínio é o pré-tratamento (MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS, 2017).

3.4. AÇO CARBONO

Os aços são ligas constituídas predominantemente por ferro e carbono, de expressiva importância econômica e intensivamente utilizadas em aplicações industriais (DWIVEDI et al., 2017). Apesar disso, com exceção dos aços inoxidáveis, estas ligas apresentam pouca resistência à corrosão na maioria dos ambientes (TALBOT, 1998; POURBAIX, 1973). O aço carbono sofre corrosão em soluções aquosas, como em ácido clorídrico (GUANNAN, 2006), ácido sulfúrico (SOUZA, 2008), soluções salinas e nitratos (TRELA et al., 2015).

Segundo Buzzetti (2016), o aço carbono é uma das ligas mais comuns e baratas existentes. É composto, em sua maioria, por Ferro (98%). Porém também possui Carbono (0,25 – 0,29%), Manganês (1,03%), Fósforo (0,04%), Silício (0,28%) e Enxofre (0,05%).

Esta liga possui extrema relevância comercial, por conta disto é importante estabelecer condições que a protejam do processo corrosivo. Consequentemente, para fundamentar a escolha de um método de proteção é necessário elucidar os mecanismos da corrosão.

3.5. INIBIDORES DE CORROSÃO

Inibidores de corrosão são adotados na indústria por sua finalidade em prevenir ou minimizar processos corrosivos. Esse inibidor é uma substância ou mistura de substâncias, que em concentrações adequadas, no meio corrosivo, possibilitam a redução da corrosão (GENTIL, 2011). São classificados quanto a sua composição (orgânicos ou inorgânicos) e quanto ao seu comportamento (oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção). Os inibidores orgânicos funcionam através da dessorção na superfície do metal, bloqueando os sítios ativos, deslocando as moléculas de água e formando um filme de barreira compacto para diminuir a taxa de corrosão (SOLMAZ et al., 2008).

A toxicidade dos inibidores convencionais que apresentam características favoráveis a adsorção, tornou-se uma preocupação, pois podem causar danos ambientais por apresentarem cromatos, fosfatos, silicatos (NEGM et al., 2013). Compostos orgânicos que contêm enxofre, nitrogênio, podem causar danos permanentes ou temporários aos seres vivos, afetando o fígado, os rins, e, os que contêm cromo são cancerígenos (JACBY et al., 2018). Unem-se a essas adversidades, as crescentes regulamentações ambientais, obrigando as empresas exploradoras o emprego de compostos menos danosos e compatíveis com o meio de atuação. Em função disso, há uma necessidade de alternativas inibitórias que contenham a mesma função de um inibidor convencional, mas ambientalmente e ecologicamente aceitáveis.

Os inibidores de corrosão naturais podem ser orgânicos ou inorgânicos. Eles são extraídos a partir de extratos de sementes, frutos, folhas, casca de frutas. Os inibidores de corrosão verde são biodegradáveis, renováveis e não contêm metais pesados ou outros compostos tóxicos (RANI et al., 2012). O manuseio seguro, também é uma característica desses inibidores; os extratos vegetais usados nesse tipo de inibidor costumam apresentar um menor custo podendo ser obtidos por extração de forma simples (EL-ETRE, 2008).

Rocha (2013), investigou a obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais. Os extratos analisados foram casca de laranja, semente de mamão e bagaço de uva, através de técnicas eletroquímicas de curvas de polarização anódica e catódica e de impedância eletroquímica, e ensaios de perda de massa. A eficiência destes inibidores foi bastante significativa em meio de ácido clorídrico 1 mol L^{-1} , com eficiências superiores a 90% em 24 horas de imersão.

O extrato de camomila é um exemplo de produto natural, que teve suas propriedades inibitórias estudadas em comparação com um inibidor comercial. Para avaliar o desempenho destas substâncias foi aplicado o método da perda de massa, sendo as eficiências de inibição resultantes as principais variáveis empregadas na comparação. Os inibidores foram testados em soluções aquosas de ácido clorídrico à temperatura ambiente, sob agitação. E pode ser observado a superação do extrato de camomila frente ao molibdato de sódio, apresentando uma eficiência de inibição máxima de 96,9% para um teor de $5,0 \text{ g.L}^{-1}$ (SOUZA, 2018).

Nesse sentido, foram analisados quatro possíveis inibidores de corrosão baseados em óleos naturais, o óleo de coco babaçu, o óleo de mamona, o óleo essencial de eucalipto e o óleo essencial de citronela afim de diminuir a corrosão do cobre, alumínio e aço.

3.5.1. Método e avaliação do desempenho

A monitoração da ação corrosiva é realizada por meio de técnicas e métodos diversificados e Sastri (2011) descreveu algumas dessas técnicas e métodos, dentre eles o da perda de massa (PM).

O método de perda de massa para determinar os danos de corrosão pode ser utilizado para monitorar a corrosão em equipamentos existentes e avaliar materiais alternativos. Neste método, a amostra do metal é exposta ao meio corrosivo de interesse por um tempo de imersão

(TI), em seguida a PM é calculada subtraindo a massa da amostra após a imersão (M), da massa original (M₀), conforme Equação 1 (SASTRI,2011).

$$PM = M - M_0 \quad (1)$$

Para complementar o método da perda de massa e ter resultados mais precisos, a taxa de corrosão (TC) pode ser determinada utilizando a variável da PM, em gramas; a área metálica exposta(A), em mm²; o tempo de imersão (TI), em anos; e a massa específica (ρ), em gramas por milímetro cúbico, conforme mostrado na Equação 2:

$$TC = \frac{PM}{A*TI*\rho} \quad (2)$$

Não há tempo específico para a exposição do corpo de prova ao meio corrosivo, porém este deve ser suficientemente longo para que a perda de massa seja representativa (SASTRI, 2011).

A aplicação efetiva de inibidores de corrosão deve reprimir o processo corrosivo, reduzindo a PM e, conseqüentemente, a TC. Com os resultados de PM e/ou TC determinados a eficiência de inibição (EI) pode ser calculada através destas variáveis (Equações 3 e 4) (SCHWEITZER, 2010).

$$EI(\%) = \frac{PM_0 - PM_i}{PM_0} * 100\% \quad (3)$$

$$EI(\%) = \frac{TC_0 - TC_i}{TC_0} * 100\% \quad (4)$$

Nas Equações 3 e 4 os subscritos “0” e “i” representam os resultados alcançados na ausência e presença do inibidor de corrosão, respectivamente.

3.6. ÓLEOS

Formada em sua maioria por triglicerídeos, o óleo é extraído de diferentes partes de vegetais. Os óleos fixos são extraídos por sementes e frutos, enquanto os voláteis são extraídos de folhas, flores, caule e até raízes.

Segundo Simões e Spitzer (1999), os óleos voláteis, mais conhecidos como óleos essenciais, ou ainda óleos etéreos ou essências, são compostos secundários produzidos por algumas plantas para sua sobrevivência. São secundários por não serem diretamente necessários na alimentação delas. Os compostos primários incluem açúcares e nitrogenados e os secundários, os alcalóides, os flavonóides e as saponinas, além dos óleos essenciais. Para Taiz e Zeiger, (2006), os óleos voláteis exercem a função de defesa da planta, como a proteção contra a perda de água e contra fungos e bactérias.

Os óleos fixos são elementos energéticos e estão associados a proteínas e carboidratos, denominados genericamente de lipídios (NEVES et al.,2015). Quando são mantidos em contato com o ar, eles podem permanecer fluidos, como ocorre com o óleo de oliva (azeite) e de amendoim, que são óleos não secativos.

3.6.1. Óleo de babaçu

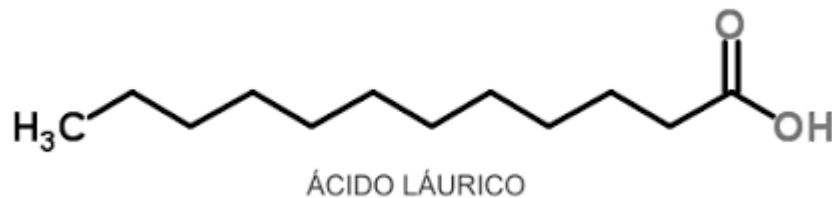
A palmeira babaçu conhecida cientificamente por *Attalea speciosa* é nativa do cerrado e das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, abrange entre 13 e 18 milhões de hectares, são distribuídos nos seguintes estados: Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Amazonas, Pará, Rondônia, Ceará, Bahia e Minas Gerais (BRASIL, 2009). Somente

a região Nordeste possui uma área de cerca de 14 milhões de hectares com babaçu, sendo que a maior parte se concentra no Estado do Maranhão (BATISTA et al., 2006).

Sua eficiência econômica está atrelada a seu aproveitamento integral. As palhas fornecidas por suas folhas são utilizadas para cobrir os tetos de ranchos e casas. Da amêndoa madura extrai-se um óleo incolor, de odor agradável, empregado na fabricação de detergentes, velas, sabão, sabonete e na alimentação como hidrogenado em margarinas e gordura de coco e a amêndoa verde fornece um leite muito nutritivo. Do resíduo da prensagem mecânica para extração do óleo, fabrica-se alimento para nutrição animal rico em proteínas. Uma farinha alimentar é obtida a partir da polpa do fruto, e a casca aproveitada como combustível em forma de carvão. O caule contém palmito, que também é consumido. O babaçu é pesquisado para biodiesel, atualmente (ECYCLE, 2018).

O óleo babaçu é extraído por prensagem mecânica. De acordo com Mandarino et al. (2015), a prensagem mecânica é realizada em prensas contínuas, onde ocorre a remoção parcial do óleo, seguida pela extração com o solvente orgânico, constituindo o chamado “processo misto”. A extração com o solvente, atualmente hexano, é utilizada para recuperar o óleo contido na torta adquirida após a prensagem. Sua composição é de aproximadamente 85% de ácidos graxos saturados e 15% por ácidos insaturados. Rossel no ano de 1993 analisou a composição química percentual do óleo bruto de babaçu, sendo constituída em média por: 44% de ácido láurico (Figura 2); 5,5% de ácido cáprico; 5,5% de ácido caprílico; 15% de ácido mirístico; 9% de ácido palmítico; 15% de ácido oléico e 2,6% de ácido linoléico e 3,4% de outros ácidos graxos.

Figura 2-Fórmula estrutural do ácido láurico.



Fonte: iStock (2020).

Por apresentar uma grande porcentagem de ácido láurico em sua composição, o óleo babaçu tem sido aplicado como agente bactericida, em filmes alimentares, merecendo atenção ao seu desenvolvimento. Sua ação em bactérias comumente associadas às intoxicações alimentares (*Staphylococcus aureus*) e doenças do trato gastrointestinal (*Helicobater Spp*) pode ser útil ainda na forma de lipossomas (NAKATSUJI et al., 2009), pretendendo minimizar a incidência destas doenças. Constituindo aproximadamente 65% do peso da amêndoa, o óleo obtido é subproduto para a fabricação de margarinas, sabão, glicerina, óleo comestível e cosméticos. (PAVLAK et al., 2007).

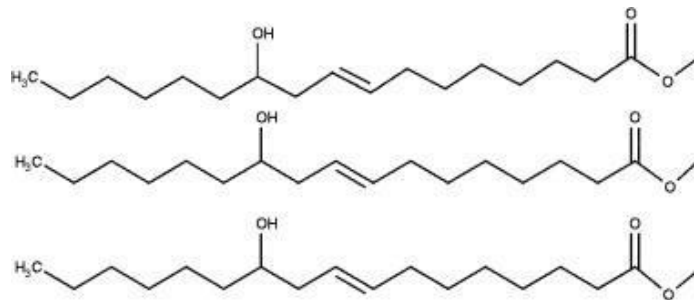
Analisando as diversas utilidades do babaçu, busca-se o desenvolvimento tecnológico de novos produtos, e para isto, estudos preliminares assumem grande importância.

3.6.2. Óleo de mamona

Pertencente à família botânica Euphorbiaceae, a mamona (*Ricinus communis* L.) é uma cultura industrial que tem como principal objetivo o óleo, característico por sua elevada viscosidade, obtido através da compressão de suas sementes ou por extração com solvente (CAMPOS E SANTOS, 2015).

A mamona apresenta em sua composição ácido ricinoleico, triglicerídeos e glicerol. Dispõe, ainda, em menores quantidades de ácidos iso-ricinoléico, oleico, linoleico, esteárico, dehidroxiesteárico, além de provitamina A, vitamina E, fosfolípidos e esterinas (betaesterina), alcaloides (ricinina, ricina), e outros componentes como proteínas (20-26%), lipídeos (50-60%), glúcidos, ácido úrico, tocoferóis, ácido orgânicos (ácido ascórbico e cítrico) (FLORIEN, 2016). Devido à presença do ácido ricinoleico, o óleo de mamona possui características químicas singulares quando comparado a outros óleos vegetais (TROVATI et al., 2019). A estrutura desse óleo pode ser observada na Figura 3.

Figura 3- Estrutura triglicerídica do ácido ricinoleico.



Fonte: TROVATI et al. (2019).

Apesar do objetivo primordial do rícino ser a extração do óleo todas suas partes podem ser aproveitadas: a torta, as folhas, as hastes. O óleo extraído da semente da mamona tem despertado o interesse devido a seu fácil cultivo e sua resistência a escassez de água (CANGEMI et al., 2010).

A mamoeira é encontrada no Brasil em todas regiões, porém segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o maior produtor de mamona é o estado da Bahia com 34,2 mil toneladas por ano, o que representa 98,3% da produção nacional. Por isso, este óleo vem sendo adotado na indústria química em diversas aplicações, como a produção de tintas, corantes, vernizes, anilinas, lubrificantes de alta viscosidade, colas e aderentes, biodiesel, até a fabricação de próteses para transplantes em órgãos humanos (VAINSENER, 2008). O grupo hidroxila (-OH) ligado a cadeia de hidrocarbonetos presentes no ácido ricinoleico pode torná-lo extremamente importante para produção industrial de plásticos e cosméticos (KEERA et al., 2018).

As moléculas compostas por grupos hidroxilas existentes no óleo de mamona podem também reagir com isocianatos (LIANG et al., 2018b) e sua estrutura hidrofóbica de triglicerídeo, específica do óleo de mamona, é capaz de melhorar resistências químicas, propriedades mecânicas e à água em filmes poliméricos (LIANG et al., 2018b).

A partir do óleo da mamona será estudado, no presente trabalho, uma alternativa sustentável na inibição da corrosão em meio salino.

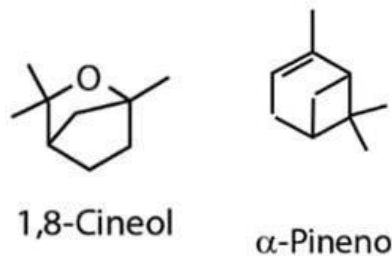
3.6.3. Óleo de eucalipto

Conhecida como árvore da febre, mogno branco ou comeiro azul, o eucalipto é uma planta de origem australiana, e está em território brasileiro a quase 190 anos com diversas espécies. Graças as suas propriedades físicas e químicas diversificadas o eucalipto possui várias finalidades como, lenha, estaca, carvão vegetal, moirões, papel e celulose, chapas de fibra, móveis, geração de energia, medicamentos, óleo essencial, entre outros. Atualmente há mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente (EMBRAPA, 2021).

Segundo Marzoug et al. (2011), os óleos essenciais de espécies de *Eucalyptus* possuem atividades biológicas importantes, tais como propriedades desinfetantes, antissépticas, analgésicas, anti-inflamatórias, expetorantes, antibacterianas e antioxidantes. É obtido através do processo de hidrodestilação Sandi e Blanco (2007) verificaram que o óleo essencial de *E. globulus* possui atividade inseticida sobre *Sitophilus zeamais*, causando uma mortalidade de 65% em 24 horas.

As composições do óleo de eucalipto foram descritas por Florien (2016) como óleo com: 1,8-cineol, α -cimeno, α -pineno, limoneno, geraniol e canfeno; as folhas: óleos essenciais (1,8-cineol, α -pineno, mirtenol, pinocarvona, terpenos, aldeídos alifáticos); taninos; flavonoides (eucaliptrina, hiperosideo, quercetina e rutina); ácidos polifenóis; resina; ceras. Os principais componentes do óleo de eucalipto são 1,8-cineol e α -pineno e estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4-Componentes majoritários do óleo de eucalipto.



Fonte: UPE (2020).

Diante da necessidade de pesquisas com produtos alternativos, o potencial do óleo de eucalipto foi analisado pretendendo descobrir novas aplicações para ele. Um estudo de verificação do seu potencial inibitório frente ao alumínio, cobre e aço carbono foi realizado.

3.6.4. Óleo de citronela

A citronela (*Cymbopogon winterianus*) é um capim da família Poaceae, proveniente do Ceilão e da Índia. Suas folhas são longas e estreitas e longas, podendo atingir até um metro, demonstrado na Figura 5. Ela apresenta bordas ásperas e cortantes, parecido com o capim-limão, entretanto, pode-se diferenciá-los principalmente pelo odor, já que a citronela possui um cheiro marcante de limão (CUSTODIO, 2020).

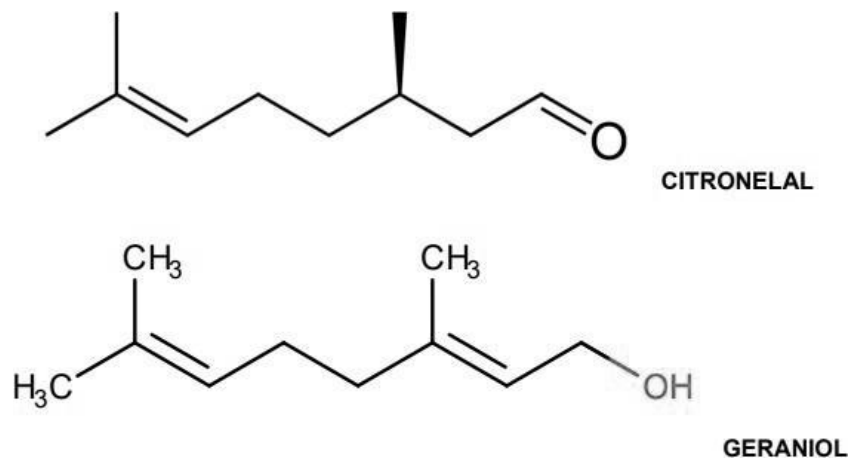
Figura 5- Folha de capim citronela.



Fonte: A Autora (2021).

Esta planta contém uma quantidade enorme de óleo essencial citronelal, a principal fonte responsável pela sua utilização em repelentes. Estas substâncias são normalmente produzidas por células secretoras, encontradas nas folhas. Durante sua tese Carneiro (2015) quantificou a composição do óleo essencial da citronela, tendo como majoritários o β -citronelal (32,74%) e o geraniol (28,87%), porém também há citronelol (9,59%), Elemol (7,42%), 4,10-Candinelol (2,12%), acetato de geraniol (1,99%), limoneno (1,97%), Δ -cadineno(1,85%), geraniol(1,00%). Tanto o citronelal quanto o geraniol apresentam insaturações em sua cadeia formada basicamente por hidrocarbonetos, no entanto, é possível observar a presença de uma carbonila no citronelal e de um álcool no gerânio, sendo ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Fórmulas estruturais do citronelal e geraniol.



Fonte: OLIVEIRA et al. (2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DA PESQUISA

A extração dos óleos essenciais de citronela e eucalipto foram realizados no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Engenharia Química -LEPEQ/DEEQ/CCET da Universidade Federal do Maranhão. Já os óleos fixos são oriundos de extração artesanal realizada no interior do Piauí. Os ensaios de perda de massa foram desenvolvidos no Laboratório de Produtos Naturais (LPN)- Departamento de Química da Universidade Federal do Piauí.

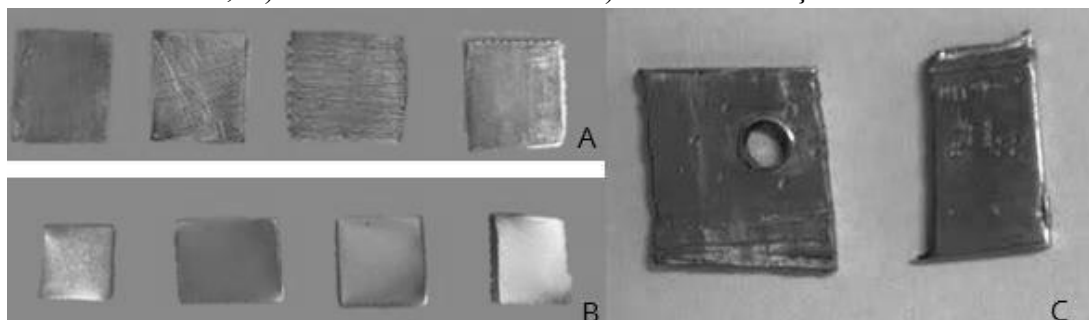
4.2. MATERIAIS

O material metálico utilizado nos experimentos foi o alumínio comercialmente puro 99,98%, o aço carbono comercial ABNT1020 e o cobre comercialmente puro 99,98%, fornecido pelo Laboratório de Solidificação e Usinagem (LSU) da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão-UEMA.

Por conta da sua presença em peças eletrônicas e tubulações de gás que sofrem corrosão o cobre foi escolhido. A escolha do aço carbono se deu por sua aplicabilidade diversificada em construção civil (chapas, telha, treliças), hidrelétricas, tubulações e transformadores, enquanto que, o alumínio foi utilizado com a finalidade de avaliar a corrosividade e variação de pH das amostras de óleos.

A densidade dos materiais são: aço carbono $7,8\text{g/cm}^3$, cobre $8,9\text{g/cm}^3$, alumínio $2,7\text{g/cm}^3$. A Figura 7 mostra os corpos de prova dos materiais metálicos usados nos ensaios de perda de massa, taxa de corrosão e eficiência de inibição.

Figura 7- Materiais metálicos usados nos ensaios de corrosividade. A) Lâminas de cobre, B) Lâminas de alumínio e C) Lâminas de aço carbono.



Fonte: A autora (2021).

A Tabela 1 apresenta o dimensionamento da área em cm^2 das lâminas de cobre, de alumínio e de aço carbono. Estão identificadas na ordem da Figura 7, da esquerda para direita.

Material	1 (cm^2)	2 (cm^2)	3 (cm^2)	4 (cm^2)
Cobre	0,72	0,72	1	0,9
Alumínio	0,9	0,9	0,9	0,63
Aço carbono	0,9	0,5	-	-

Fonte:A autora (2021).

Um tratamento de superfície foi realizado nas lâminas de ensaios para um polimento adequado. Utilizou-se lixas d'água de SiC para o polimento das lâminas, as quais foram lixadas a partir da lixa mais grossa até a mais fina, ou seja, da 600 mesh até 1200 mesh, sendo

posteriormente, lavadas em acetona, enxaguadas com água deionizada e secas com ar quente para serem imersas nos tubos de ensaio com NaCl e óleos.

4.3. OBTENÇÃO DOS EXTRATOS

As folhas de capim citronela e de eucalipto foram coletadas na UFMA. Essas folhas foram selecionadas, higienizadas e cortadas (Figura 8). Em seguida, foram pesadas e transferidas para o balão de destilação contendo 1L de água destilada.

Figura 8- Folhas de capim citronela (esquerda) e de eucalipto (direita) selecionadas.



Fonte: A autora (2021).

Utilizando o aparelho de Clevenger (Figura 9), o balão volumétrico contendo as folhas de capim citronela e água destilada, foi submetido à aquecimento até a temperatura de ebulição da água e decorrido 1h do início do processo de ebulição desligou-se a manta. O mesmo procedimento foi executado para o eucalipto, no entanto o procedimento precisou ser realizado duas vezes, pois seu rendimento foi menor que o esperado.

O óleo vaporizado extraído das folhas deslocou-se para um condensador onde houve a transformação deste para o estado líquido, e este líquido foi armazenado em um frasco, originando o óleo essencial. A extração de cada óleo levou aproximadamente 50min.

Figura 9- Aparelho de Clevenger contendo capim citronela.



Fonte: A autora (2021).

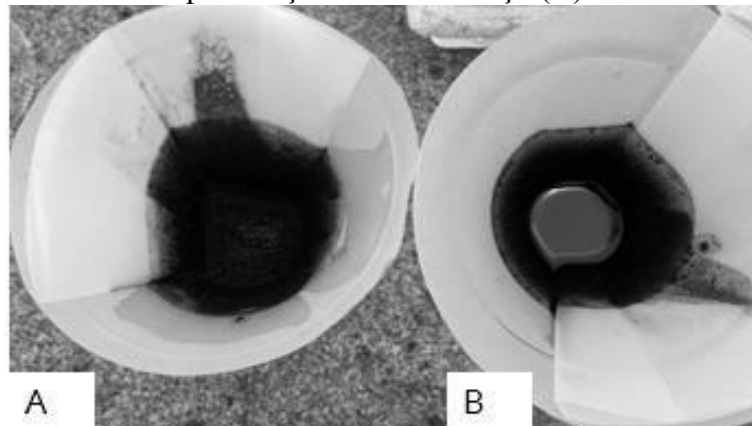
Com um peso de 363,12g em massa de capim citronela obteve-se 2,5635g de óleo concentrado equivalente a 3ml. Já para o eucalipto, massas de 262,49g e 274,95g de folhas de

eucalipto produziram 1,9416g e 1,0866g de massa de óleo, respectivamente, que geraram um volume total de 3,0282ml de óleo concentrado.

Os óleos essenciais de citronela e eucalipto obtidos através do processo de hidrodestilação foram armazenados até o momento da análise, em geladeira em ambiente escuro, para evitar volatilização.

Com o intuito de remover possíveis impurezas dos óleos fixos, extraídos artesanalmente, apesar de serem limpos e uniformes passaram por um processo de filtração para sua purificação com carvão ativado. A realização do procedimento consistiu em inserir o carvão ativado seguido do óleo a ser purificado, em um erlenmeyer contendo papel filtro, conforme Figura 10. Por possuir uma viscosidade maior, o óleo de mamona demorou mais tempo para ser filtrado.

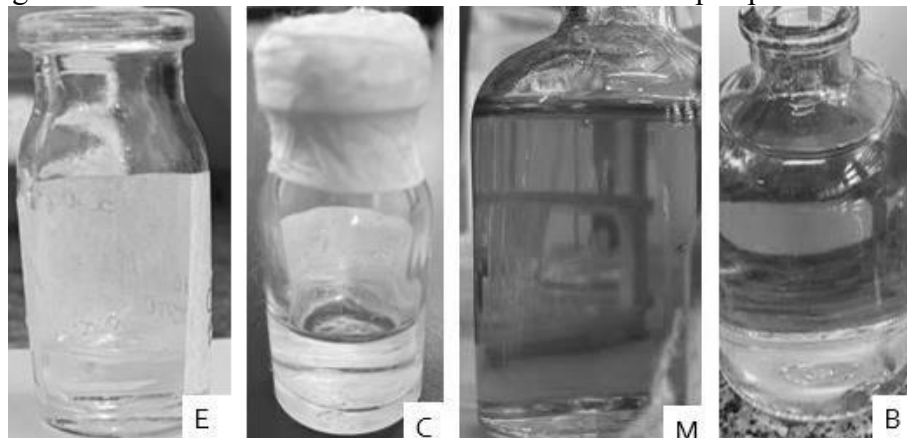
Figura 10- Processo de purificação do óleo babaçu (A) e óleo de mamona (B).



Fonte: A autora (2021).

A Figura 11 mostra os óleos essenciais (incolores) após a extração e os óleos fixos (coloração) após purificação.

Figura 11- Óleos essenciais E e C e óleos fixos M e B após procedimentos.



Fonte: A autora (2021).

4.4. MEDIÇÕES DE PERDA DE MASSA

O ensaio de imersão foi realizado com a finalidade de avaliar possíveis danos gerados pela corrosão na superfície do material metálico, mudanças de pH, cálculo da taxa de corrosão

e eficiência de inibição, quando imersos em amostras de óleos essenciais e fixos ao longo do tempo.

Para a realização dos ensaios foram utilizados tubos de ensaio com capacidade de 9,5ml. Por 30 dias as lâminas ficaram imergidas em solução de 5% de cloreto de sódio, para observar o processo corrosivo das lâminas na ausência dos inibidores, posteriormente as lâminas foram limpas e pesadas.

Para realização da perda de massa na presença do inibidor, manipulou-se 1,5ml de cada óleo fixo, 1,0ml de cada óleo essencial e 5% NaCl nas amostras de cobre e alumínio, respectivamente, e para o aço foi utilizado 1,0ml de óleo de mamona e 1,0ml de óleo de citronela em solução de 5% de cloreto de sódio. Logo após, cobriu-se o tubo com papel alumínio. Os sistemas foram fotografados após 0, 60 e 120 dias para demonstrar as mudanças ocorridas.

Após o tratamento das lâminas de ensaio (cobre, aço e alumínio), estas foram pesadas em uma balança analítica com precisão de 10^{-4} g, e, em seguida, foi feita a caracterização superficial utilizando um sistema de análise de imagens constituído de uma câmera de celular iPhone 11.

Depois de 120 dias as lâminas de cobre, alumínio e aço carbono foram lavadas com água, sabão e, depois, água destilada. Foram então secas e novamente pesadas, para o cálculo da perda de massa e determinação da taxa de corrosão, que apresenta a velocidade com que a reação de corrosão ocorre.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados experimentais obtidos pelos ensaios de Perda de Massa.

Análises de aspecto visual dos ensaios foram registradas fotograficamente antes e após cada imersão, e realizada uma análise sobre a variação do pH, mensurada nos ensaios. Além dessas análises realizaram-se medições para averiguar a perda de massa nos materiais estudados, indicando os índices de deterioração sofridos por cada material. Para avaliar o desempenho da eficiência de inibição dos óleos, realizou-se uma análise de corrosão na ausência dos inibidores.

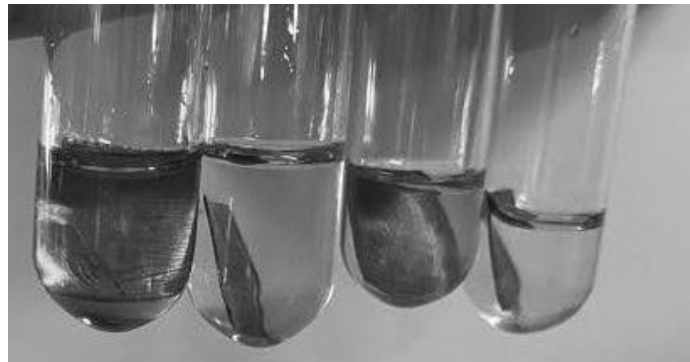
Os desempenhos dos inibidores de corrosão estudados foram avaliados com base nas variações de perda de massa e teor inibitório, obtidos através dos ensaios executados.

5.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE IMERSÃO PARCIAL E PERDA DE MASSA

5.1.1. Cobre

Após os 30 dias de ensaio apenas com NaCl, as Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam os resultados obtidos do ensaio de imersão estático das lâminas de cobre em amostras de óleos de mamona, babaçu, citronela e eucalipto, durante o tempo de 0, 60 e 120 dias.

Figura 12- Amostras de cobre em mamona, babaçu, citronela e eucalipto, dia 0.

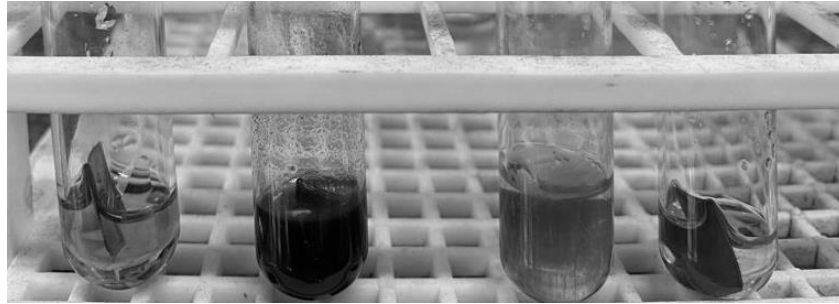


Fonte: A autora (2021).

Observa-se que na Figuras 13, ocorreu uma mudança na coloração das amostras após o período de 60 dias, no entanto a perda de massa foi insignificante. A variação da cor é um indicador da transformação do cobre em diferentes espécies com diferentes estados de oxidação, os quais são influenciados por fatores externos, tais como: temperatura e concentração de oxigênio (KUNG et al.,2012).

A mudança de coloração na amostra contendo citronela, pode estar associada à oxidação do Cu^0 a Cu^{2+} , levando o óleo a uma coloração avermelhada no início e marrom no decorrer do tempo de contato com as lâminas, indicando que gradativamente, o íon Cu^{2+} foi formado e se misturou nessas amostras. No que continha eucalipto a coloração ficou esverdeada, o material desprendido teve formato de grãos e a de babaçu ficou verde bem claro, mas não contém material desprendido, a lâmina que estava na mamona continuou preservada.

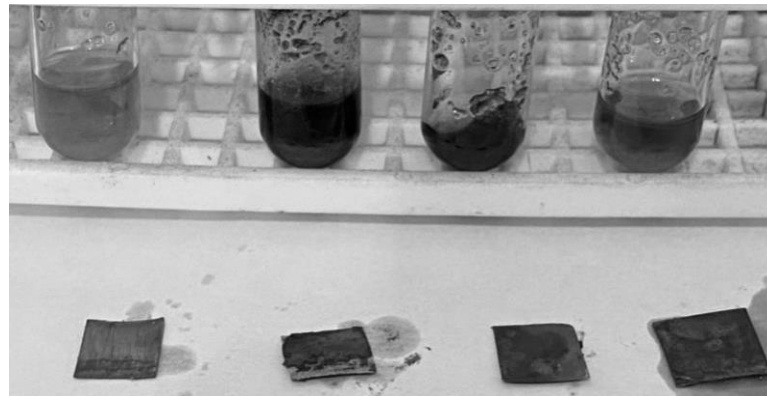
Figura 13- Amostras de cobre em mamona, citronela, babaçu e eucalipto, dia 60.



Fonte: A autora (2021).

Leygraf e Graedel (2000) e Hernández (2009), estudaram os principais produtos de corrosão do cobre, as espécies agressivas responsáveis por sua coloração, sua formação e sua solubilidade em água a temperatura ambiente, com esses dados eles desenvolveram uma tabela. Essa tabela ajuda a explicar a oxidação direta do Cu^0 a Cu^{2+} , podendo ter ocorrido oxidação somente na superfície das lâminas de cobre durante o tempo de ensaio. Logo a coloração esverdeada e amarronzada dos produtos de corrosão sob a lâmina de cobre, apresentados na Figura 14, pode estar associada ao $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ e CuO/CuCO_3 .

Figura 14- Amostras de cobre em babaçu, citronela, eucalipto e mamona, dia 120.



Fonte: A autora (2021).

Houve uma perda de massa significativa nas amostras de eucalipto, e citronela como mostrados visivelmente nas Figura 15, enquanto que na amostra de mamona e de babaçu houve uma perda de massa mínima, sendo estes os melhores inibidores para o cobre, dois óleos fixos.

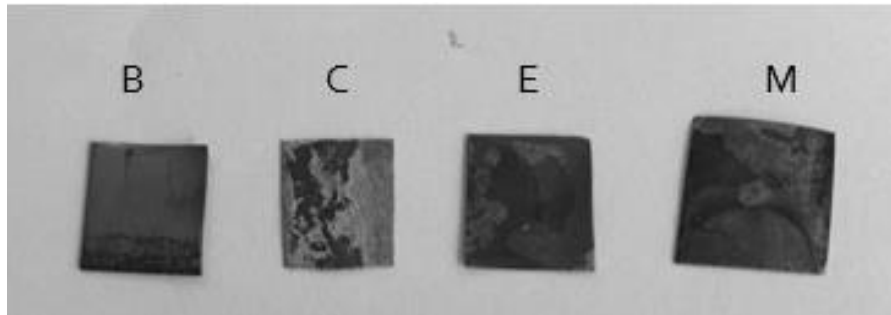
A Tabela 2 apresenta a perda de massa do cobre apenas em NaCl e em NaCl e óleo, sendo possível identificar a diferença de perda. A porcentagem chega a quase 30% na presença e na ausência de inibidor para o cobre em citronela, fazendo desse óleo um agente corrosivo ao invés de inibitório. Além de, enaltecer a observação visual onde o cobre em mamona perdeu 0,0008g de massa, enquanto o cobre em citronela perdeu 0,06g.

Tabela 2- Perda de massa cobre mediante os óleos e após a inserção do NaCl.

<i>COBRE</i>	<i>PM NaCl (g)</i>	<i>PM NaCl E ÓLEO(g)</i>
<i>MAMONA</i>	0,0312	0,0008
<i>BABAÇU</i>	0,0315	0,0022
<i>CITRONELA</i>	0,0632	0,0607
<i>EUCALIPTO</i>	0,0314	0,010

Fonte: A autora (2021).

Figura 15- Lâminas de cobre após 120 dias de imersão, limpas.



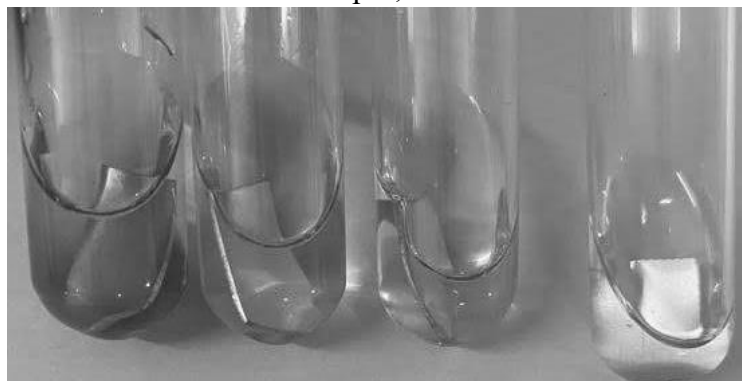
Fonte: A autora (2021).

5.1.2. Alumínio

Assim como nas lâminas de cobre, as lâminas de alumínio foram analisadas por 30 dias em NaCl e 120 dias em contato com NaCl e com os óleos (mamona, babaçu, citronela e eucalipto).

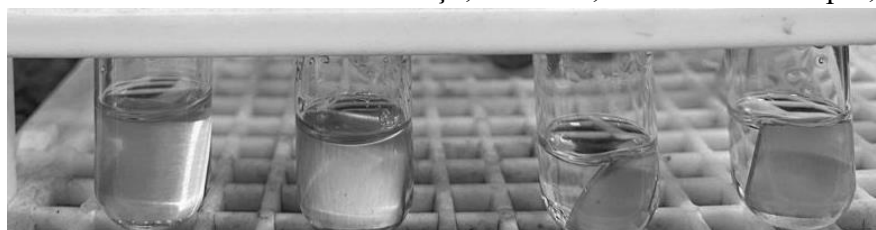
Os resultados demonstram que valores muito baixos de perda de massa foram obtidos, sugerindo que o alumínio quando imerso nos óleos não sofre um processo corrosivo acentuado. Tal comportamento está relacionado à característica que o alumínio possui de se passivar, mesmo após a inserção de um meio corrosivo mais agressivo, Figuras 16 e 17.

Figura 16- Lâminas de alumínio em contato com óleo de mamona, babaçu, citronela e eucalipto, dia 0.



Fonte: A autora (2021).

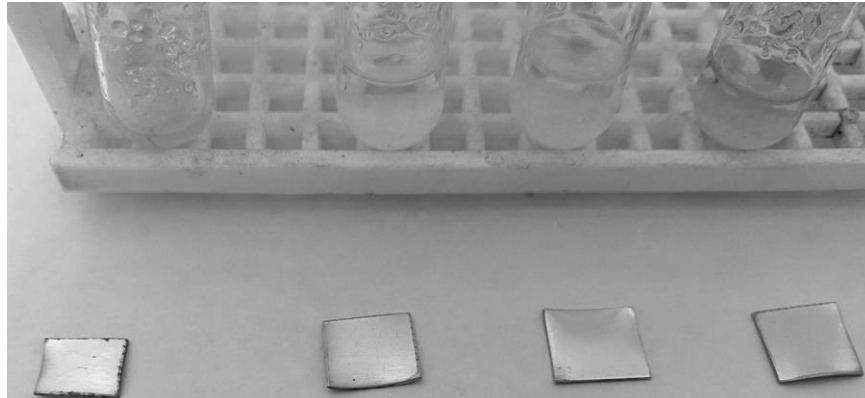
Figura 17- Amostras de alumínio em babaçu, mamona, citronela e eucalipto, dia 60.



Fonte: A autora (2021).

Quando houve a inclusão do NaCl nas amostras era esperado que ocorresse um processo de corrosão e diminuição ou aumento no pH destas, no entanto a única mudança notória é a diminuição do óleo de eucalipto, presumindo volatilização do eucalipto, Figura 18.

Figura 18- Amostras de alumínio com NaCl em citronela, eucalipto, babaçu e mamona, dia 120.



Fonte: A autora (2021).

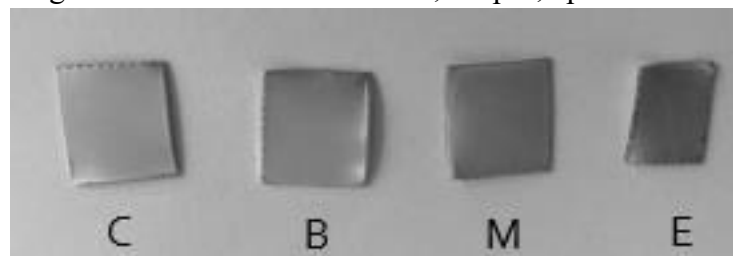
O alumínio não perdeu massa para os meios, mostrado pela Tabela 3 e Figura 19. O pH dos óleos pode ter sido o principal motivo para essa proteção, pois o pH interfere na corrosão do alumínio com valores menores que 4 e maiores que 9 (DOS SANTOS, 2011), e com o pH=5 obtidos nas amostras de alumínio a comprovação se torna evidente.

Tabela 3- Perda de massa de alumínio mediante os óleos e após a inserção do NaCl.

<i>ALUMÍNIO</i>	<i>PM NaCl (g)</i>	<i>PM NaCl E ÓLEO(g)</i>
<i>MAMONA</i>	0	0
<i>BABAÇU</i>	0	0
<i>CITRONELA</i>	0	0
<i>EUCALIPTO</i>	0	0

Fonte: A autora (2021).

Figura 19- Lâminas de alumínio, limpas, após 120 dias.



Fonte: A autora (2021).

5.1.3. Aço

Do mesmo modo que as peças de alumínio e cobre, as peças de aço foram analisadas por 30 dias imersas apenas em NaCl e 120 dias nos óleos de mamona e citronela na presença de NaCl.

As Figuras 20 e 21 demonstram as peças de aço no dia 0 e no dia 60, e suas modificações. A coloração da amostra de aço imersa na citronela ficou bastante escura do decorrer dos dias, enquanto a que estava presente na mamona não teve mudança de coloração.

Figura 20- Amostras de aço em mamona e citronela, dia 0.



Fonte: A autora (2021).

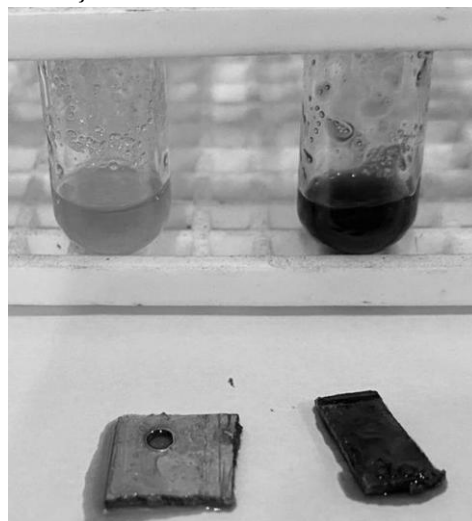
Figura 21- Amostras de aço em mamona e citronela, dia 60.



Fonte: A autora (2021).

Apesar de estarem em mesma quantidade de óleo e de massa de NaCl o desprendimento de massa do aço na amostra contendo citronela é mais perceptível, supondo que o óleo de mamona possui características mais inibitórias quando comparada ao óleo de citronela. A Figura 22 mostra o estado superficial das lâminas de aço e a coloração dos óleos após 120 dias de imersão.

Figura 22- Lâminas de aço retiradas dos óleos de mamona e citronela após 120 dias.



Fonte: A autora (2021).

Após 120 dias imersos em NaCl a perda de massa do aço foi insignificante em contato com a mamona, já na citronela há uma perda de quase 0,01g, a Tabela 4 demonstra os valores

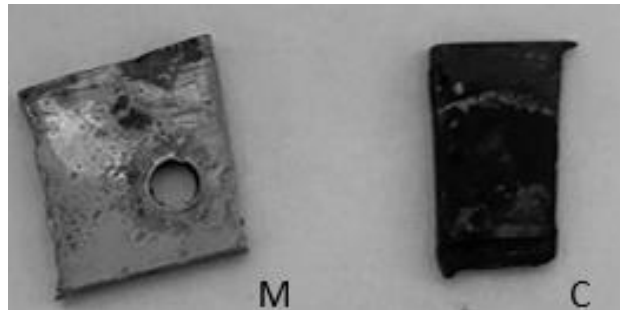
da perda na ausência e na presença dos inibidores. A lâmina de aço carbono que estava em mamona perdeu 0,256% na ausência e menos de 0,06% na presença do óleo, atestando que o óleo de mamona fornece uma boa proteção ao aço carbono, em contrapartida a citronela se apresentou um péssimo protetor do aço carbono exibindo uma porcentagem de perda de 1,54% na ausência e de 1,42% na presença. E a Figura 23 apresenta o aspecto visual final das lâminas limpas e evidencia visualmente uma corrosão sofrida pelo aço imerso em citronela.

Tabela 4- Perda de massa do aço mediante os óleos e NaCl.

AÇO CARBONO	PM NaCl (g)	PM NaCl E ÓLEO(g)
MAMONA	0,0025	0,0005
CITRONELA	0,0102	0,0094

Fonte: A autora (2021).

Figura 23- Lâminas de aço após 120 dias de imersão total em NaCl e óleo, limpas.



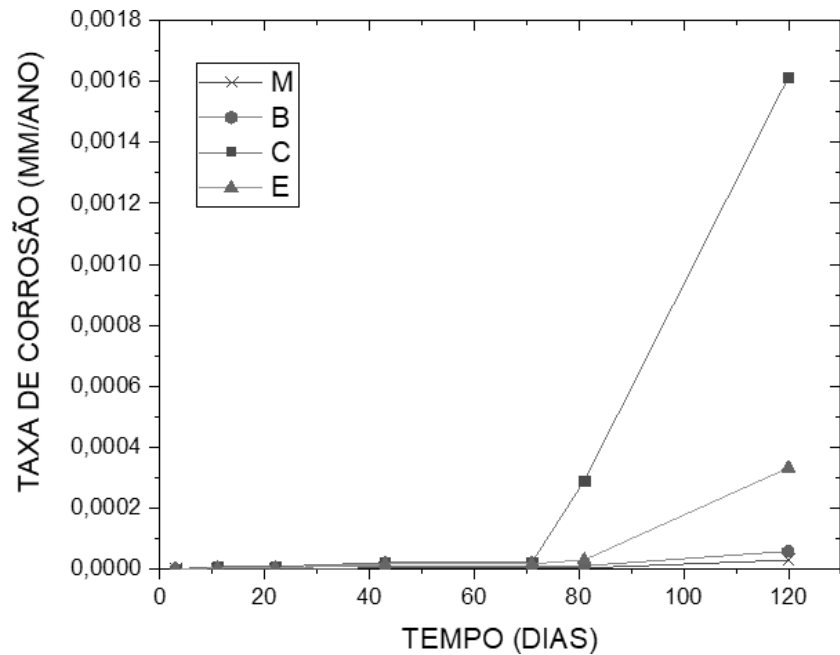
Fonte: A autora (2021).

5.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE TAXA DE CORROSÃO

Levando em conta a área dos metais, o tempo de imersão, a densidade predeterminada adicionado aos ensaios de imersão e os valores obtidos com a perda de massa dos materiais (Tabelas 2, 3 e 4) foi possível calcular a taxa de corrosão dos materiais, por meio da Equação 2 e posteriormente comparar o comportamento das taxas nas Figuras 24 e 25.

A Figura 24 explica o comportamento das lâminas de cobre submersíveis em cloreto de sódio em diferentes óleos. Onde o cobre em NaCl, M e B sofreram uma taxa corrosiva desprezível, já o cobre em contato com NaCl, C e E o nível de corrosão era mínimo e nos 40 dias finais de análise sofreu uma corrosão considerável sendo de 0,0016mm/ano para citronela e 0,0003mm/ano para eucalipto.

Figura 24- Taxa de corrosão do cobre imerso em cloreto de sódio e óleos.

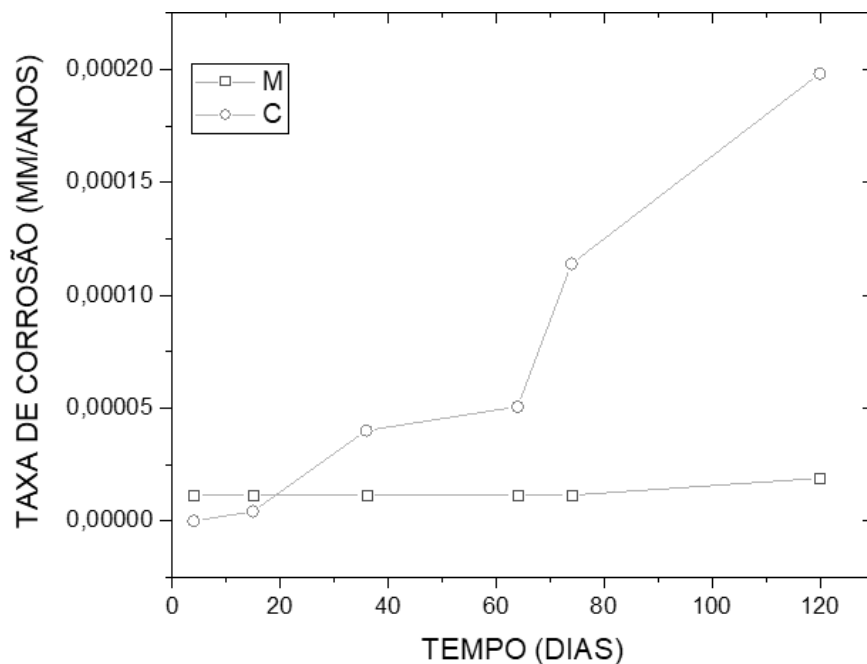


Fonte: A autora (2021).

Não há taxa de corrosão para as lâminas de alumínio, pois não se verificou perda de massa do material nos distintos óleos.

Verifica-se, claramente, que na solução de M a taxa de corrosão do aço foi significativamente menor em relação a C, não somente nas primeiras horas, mas após períodos mais longos, onde a C chegou a uma taxa de 0,00020mm/ano enquanto que a de M não passou 0,000025. Este comportamento significa que o óleo de mamona é mais resistente à corrosão em comparação com o outro meio observado.

Figura 25- Taxa de corrosão do aço imerso em cloreto de sódio e óleos.



Fonte: A autora (2021).

5.3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE EFICIÊNCIA INIBITÓRIA

Com os dados das Tabelas 2, 3 e 4 foi possível calcular a taxa de corrosão e através da Equação 4 a eficiência de inibição dos óleos, sendo o óleo de mamona o mais eficiente para o aço carbono com 80% de eficiência e 97,45% de eficiência para o cobre já que o alumínio não sofreu corrosão, a citronela é um péssimo inibidor para esses materiais ficando abaixo de 10% de eficiência. Os valores da eficiência em porcentagem estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5- Eficiência de inibição dos óleos estudados.

<i>ÓLEO</i>	<i>COBRE (%)</i>	<i>AÇO CARBONO (%)</i>
<i>MAMONA</i>	97,45	80
<i>EUCALIPTO</i>	68,15	
<i>CITRONELA</i>	3,39	7,84
<i>BABAÇU</i>	93,01	

Fonte: A autora (2021).

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho comprovou que a utilização de óleos extraídos de folhas e frutos para desenvolver inibidores de corrosão para aço carbono, cobre e alumínio em meio salino, podem ser viáveis e ambientalmente seguros nesse processo. Constatou-se, ainda, que os óleos extraídos de folhas obtidos por hidrodestilação, apesar de fácil extração, obtiveram uma eficiência de rendimento baixa quando comparada aos óleos fixos, o que pode dificultar sua utilização como inibidor corrosivo.

Não houve alteração significativa de pH em nenhuma das amostras utilizadas nos ensaios. As observações superficiais das amostras de cobre após o tempo de exposição mostraram uma boa coerência entre os óleos fixos; permitiram identificar alterações na morfologia das superfícies.

Concluímos também que a pesquisa é necessária, de modo a tornar comercialmente viável a formulação de inibidores de corrosão a partir dos óleos de mamona e babaçu, aliando baixo custo, alta eficiência e menor impacto ambiental, porém é importante um estudo mais amplo para garantir uma melhor compreensão no comportamento superficial, metalúrgico do material metálico e das propriedades físico químicas desses inibidores.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados alcançados são prósperos, com destaque para o fato de que se trata de uma pesquisa inicial, sendo necessário novos estudos com objetivo de avaliar a eficiência dos óleos fixos em condições diversas das utilizadas envolvendo:

- A otimização do processo de extração;
- A alteração na duração dos ensaios;
- Temperatura do sistema;
- Concentração e mudança do meio corrosivo;
- Natureza dos materiais;
- Processo de tratamento térmico em baixa e altas temperaturas.

Além de aplicar técnicas eletroquímicas e de microscopia e o levantamento dos custos associados ao processo.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M. F., OLIVEIRA, L. R., GOMES, R. D., GOMES, F. F., NETO, J. A., JÚNIOR, J. M., *Extratos de Plantas da Caatinga como Inibidor de Corrosão*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE- ABCOBRE. *Anuário Brasileiro do Cobre*, p. 77-78, 2020. Disponível em: <http://www.virapagina.com.br/abcobre2020/>. Acesso em: setembro de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE- ABCOBRE. *Entenda as principais características e aplicações do cobre*. Disponível em: <http://abcobre.org.br/entenda-as-principais-caracteristicas-e-aplicacoes-do-cobre>, março de 2021. Acesso em: setembro de 2021.
- BATISTA, C. P.; TORRES, O. J. M.; MATIAS, J. E. F.; MOREIRA, A. T. R.; COLMAN, D.; LIMA, J. H. F.; MACRI, M. M.; RAUEN, J. R.; FERREIRA, L. M.; FRAITAS, A. C. T. *Efeito do extrato aquoso de Orbignya phalerata (babaçu) na cicatrização do estomago em camundongos: estudo morfológico e tensiométrico*. Revista Acta Cirurgica Brasileira, São Paulo, SP, v. 21, Supl. 3, p. 26-32, 2006.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA, Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome & Ministério do Meio Ambiente. *Promoção Nacional da Cadeia de Valor do Coco Babaçu*. Brasília: MDA, 2009.
- BROWN, T. J.; IDOINE, N. E.; RAYCRAFT, E. R.; SHAW, R. A.; HOBBS, S. F., P. Everett *et al.* World Mineral Production 2012-2016, British Geological Survey (2018)
- BUZZETTI, P. H. M. *Compatibilidade e sinergismo entre inibidores de corrosão e inibidores de incrustação inorgânicos na indústria do petróleo*, 2016
- CAINES, S.; KHAN, F.; ZHANG, Y.; SHIROKOFF, J. *Simplified electrochemical potential noise method to predict corrosion and corrosion rate*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v.47, p.72-84, 2017.
- CAMPOS, E. S. C.; DOS SANTOS V. M. L. *Estudo do Processo de Extração de Óleo de Mamona em Cooperativas do Pólo São Francisco*. Engevista, v. 17, n. 4, p. 477-490, 2015.
- CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. *A revolução verde da mamona*. Química Nova na Escola, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.
- CARNEIRO, V. W. *Óleo essencial de citronela: Avaliação do seu potencial como repelente veiculado em uma loção cremosa*. Dissertação Graduação – João Pessoa-PB: UFPB, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 7 – safra 2019/20 – Décimo primeiro levantamento*, Brasília, p. 1-62, agosto 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: setembro de 2021.
- CUSTODIO, M. S. *Produção de Tinta Acrílica Repelente Contra Insetos Através da Incorporação do Óleo de Citronela*. Dissertação Tecnólogo- São Paulo-SP: FTSP,2020.

DARIVA, C. G.; GALIO, A. F. *Corrosion inhibitors – principles, mechanisms and applications*. INTECH, p.365-380, 2014.

DIAZ, B. L.; LOPEZ, S. J. F.; MALDONADO, L. L.; GARFIAS, M. L. F. Corrosion behavior of aluminum exposed to a biodiesel. *Electrochemistry Communications*, v.11, p.41-44, 2009.

DOS SANTOS, W. I. A. *Caracterização da Resistência à Corrosão de Ligas de Alumínio após tratamentos alternativos à Cromatização, com e sem Revestimento Orgânico*. Dissertação de Mestrado em Ciência na área de tecnologia Nuclear- Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. 120p, 2011.

DWIVEDI, D.; LEPKOVA, K.; BECKER, T. *Carbon steel corrosion: a review of key surface properties and characterization methods*. The Royal Society of Chemistry, n.7, p.4580-4610, 2017.

ECYCLE. *Óleo de coco babaçu: para que serve*. 2018. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/oleo-de-coco-babacu/>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

EL-ETRE, A. Y. *Inhibition of C-steel corrosion in acidic solution using the aqueous extract of zallouh root*. *Materials Chemistry and Physics*, v. 108, p. 278–282, 2008.

GENTIL, V., 1996, *Corrosão*. 3 ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2011.

GUANNAN, M.; XIANGHONG, L.; QING, Q.; ZHOU, J. *Molybdate and tungstate as corrosion inhibitors for cold rolling steel in hydrochloric acid solution*. *Corrosion Science*, v.48, p.445-459, 2006.

HERNÁNDEZ, R. B. *Investigação do comportamento eletroquímico do cobre e da degradação de pátinas, vernizes e ceras utilizados para a proteção do patrimônio histórico-cultural em soluções de água de chuva sintética de São Paulo e Rio de Janeiro*. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Áreas de Concentração: Engenharia Química. 2009.

INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION (IZA). *Zinc uses*. Recovered from: Access on: 24 jun. 2015.

JACBY, B.C.; SILVA, T.E.P.; LIMA FILHO, N.M.; MEDEIROS, E.B.M. *Avaliação de inibidores de corrosão para aço carbono 1020 em meio ácido*, XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo, setembro de 2018.

KEERA, S. T.; SABAGH, S. M. EL; TAMAN, A. R. Castor oil biodiesel production and optimization. *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 27, n. 4, p. 979–984, 2018.

KUNG, YI; HSIEH, B.; CHENG, T.; HUANG, C.; CHEN, R. *Impedimetric Sensing of the Biodiesel Contents in Diesel Fuels With a Carbon Paste Electrode Pair*. *Fuel*, 102, p.724-728, 2012.

LEYGRAF, C.; GRAEDEL, T. *Atmospheric corrosion*. New York: John Wiley & Sons, 2000.

LI G.; DING, Y.; XU, H.; JIN, J.; SHI, B. *Characterization and release profile of (Mn,Al)-bearing deposits in drinking water distribution systems*. Chemosphere, n.197, p.73-80, 2018.

LIANG, H.; FENG, Y.; LU, J.; LIU, L.; YANG, Z.; LUO, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, C. *Biobased cationic waterborne polyurethanes dispersions prepared from different vegetable oils*. Industrial Crops & Products, v. 122, n. March, p. 448–455, 2018a.

LIANG, H.; LIU, L.; LU, J.; CHEN, M.; ZHANG, C. *Castor oil-based cationic waterborne polyurethane dispersions: Storage stability, thermo-physical properties and antibacterial properties*. Industrial Crops & Products, v. 117, n. January, p. 169–178, 2018b.

LIU, G. e MULLER, D.B. *Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments*. J. Clean Prod., 35, pp. 108-117, 2012.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. *Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos*. Embrapa Soja Londrina, 2ª ed. Londrina, 2015.

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS, 2017 Disponível em: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/6641-como-acontece-a-corrosao-dealuminio/> Acesso em: setembro de 2021.

MARZOUG, H.N. BEN et al., *Eucalyptus oleosa essential oils: Chemical composition and antimicrobial and antioxidant activities of the oils from different plant parts (stems, leaves, flowers and fruits)*. Molecules, 16(2), pp.1695–1709, 2011.

NAKATSUJI, T.; et al. *Antimicrobial property of lauric acid against Propionibacterium Acnes: its therapeutic potential for inflammatory acne vulgaris*. Journal of Investigative Dermatology, v. 129, p. 2480-2488, 2009.

NEGM, N. A.; YOUSEF, M. A.; TAWFIK, S. M. *Impact of Synthesized and Natural Compounds in Corrosion Inhibition of Carbon Steel and Aluminium in Acidic Media*. Recent Patents on Corrosion Science, Bentham Science Publishers, 2013.

NEVES, M.; MELLO, H.; ALMEIDA, L.; ALVES, G. *Extração de Óleos (Fixos e Voláteis) A Partir de Material Biológico no Ensino de Orgânica Experimental*. 13º SIMPEQUI-Simpósio Brasileiro de Educação Química, Fortaleza, 2015.

PAVLAK, M. C. M. ZUNIGA; A. D.; LIMA; T. L. A.; PINEDO, A. A.; CARREIRO; S. C.; FLEURY; C. S.; SILVA; D. L. *Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (Orbignya martiana) para obtenção de etanol*. Revista Evidência - Ciência e Biotecnologia, Joaçaba, v. 7, n. 1, p. 7-24, jan./jun. 2007.

PEDEFERRI, Pietro. *Corrosion Science and Engineering*. Tradução de Luciano Lazzari e MariaPia Pedeferrri. P.3.1ª.ed. Editora Springer, 2018.

POURBAIX, M. *Lectures On Electrochemical Corrosion*. 1.ed. New York: Plenum Press, 1973.

OLIVEIRA, E.; CYPRIANO, K. N.; TEXEIRA, L. G. D.; MACHADO, V. L. H. *Caracterização físico-química e potencial repelente de óleo essencial de citronela*

(*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) e de botões florais de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr & Perry). Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari, 2015.

RANI, B. E. A.; BASU, B. B. J. *Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview*. International Journal of Corrosion, v. 2012, n. i, 2012.

RIEDER, E. S., BRUSAMARELLO, V., BIANCHI, A. L., *et al.*, *Investigação dos principais processos de corrosão em estações de energia elétrica do Estado do RS, Matéria (Rio J.)*, v.14, pp. 1000-1014, 2009.

ROCHA, Janaina Cardozo da; *Obtenção de inibidores de corrosão a partir de extratos de produtos naturais*. Dissertação Graduação– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

ROSSEL, J.B.; IRANKEN, M. D. Manual de indústrias de los alimentos. Acríbia v. 2, p. 195-225, 1993.

SAMPAIO, J.A., ANDRADE, M.C. e DUTRA, A.J.B. Bauxita In: LUZ, A.B. e LINS, F.A.F. (Editores). *Rochas e Minerais Industriais*. 1ª ed. Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral, p.279-304, 2005.

SANTO, Paulo, E., *Aço na construção*. Grandes Construções, local de publicação, Ed. 79, p.16-20, maio de 2017.

SASTRI, V. S. *Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice*. 1 ed., New Jersey: Wiley, 310 p., 2011.

SCHWEITZER, P. A. *Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes and Preventative Methods*. CRC Press, 2010.

SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O. et al. *Farmacognosia da planta ao medicamento*. Porto Alegre, Florianópolis: Editora da UFRGS/ Editora da UFSC, p.387-416, 1999.

SOLMAZ, R.; KARDAS, G.; ÇULHA, M.; YAZICI, B.; ERBIL, M. *Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptothiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media*. Electrochim Acta 2008; 53(20):5941-52.

SOUZA, Lucas Callado. *Inibidores de corrosão naturais: uma comparação com substâncias de uso comercial*. Dissertação Graduação- Niterói:UFF, 2018.

VAINSENCER, Semira Adler. *Mamona*. Pesquisa Escolar Online, Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/>>. Acesso em: 09/2021.

TALBOT, D.; TALBOT, J. *Corrosion Science and Technology*. CRC Press, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 4. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 2006.

TRELA, J.; CHAT, M.; SCENDO, M. *Influence of sodium molybdate(VI) on the corrosion of S235 carbon steel*. CHEMIK, v.69, n.9, p.592-599, 2015.

TROVATI, G.; VINICIUS, M.; SUMAN, N.; APARECIDO, E.; HENRIQUE, P.; BESSAN, R.; CLARO, S.; ROBERTO, L. *Production and characterization of polyurethane castor oil (Ricinus communis L.) foam for nautical fender*. Polymer Testing, v. 73, n. October 2018, p. 87–93, 2019.

WOLYNEC, S. *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*. p.166. São Paulo: USP; 2003.