



**INSITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO NORTE CAMPUS MACAU  
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM QUÍMICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CORROSÃO EM DUTOS DE PETRÓLEO E GÁS: REVISÃO E ESTUDO DE CASO  
NA CIDADE DE MACAU**

MACAU

2023.2

**MARIANA ELLEN DE MELO MEDEIROS**

**CORROSÃO EM DUTOS DE PETRÓLEO E GÁS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE  
DE MACAU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para conclusão do curso de  
Técnico Integrado em Química do Instituto  
Federal do Rio Grande do Norte Campus  
Macau

Orientador (a): Prof. Thiago Valente Lima  
Alexandre

MACAU- RN

2023.2

**MARIANA ELLEN DE MELO MEDEIROS**

**CORROSÃO EM DUTOS DE PETRÓLEO E GÁS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE  
DE MACAU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para conclusão do curso de  
Técnico Integrado em Química do Instituto  
Federal do Rio Grande do Norte Campus  
Macau.

Macau – RN, 28 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora

---

Prof.(a) Esp. Thiago Valente Lima Alexandre

Orientador

---

Prof(a) Dr. Glauco Soares Braga

Examinador

---

Prof(a) Me. Paulo Venicius Messias dos Santos

Examinador

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho principalmente ao meu avô materno Jose Barbalho Filho, que sempre apoiou minha formação acadêmica e que infelizmente não pôde estar presente para presenciar o fim de minha jornada no curso, mas que acredito que esteja orgulhoso de onde estiver olhando por mim. Dedico também para minha irmã Francisca Andreza de Melo, que me inspira por sua excelência ao passar pelo mesmo campus e curso que estou prestes a concluir. Dedico também ao meu namorado, Ramon Vinicius dos Santos Melo, que me incentiva todos os dias a ser uma discente e uma pessoa melhor, que me acompanha de perto todos os dias e me dá forças para continuar, e futuramente me tornar uma profissional química exemplar. Agradeço também ao engenheiro químico e amigo Carlison que me inspira e me ajudou na escrita deste trabalho. Agradeço imensamente ao diretor acadêmico Marcos Leonardo, que sempre me incentiva a estudar, que me impulsiona para oportunidades acadêmicas e que acima de tudo é um amigo querido que fez meus dias no campus serem melhores. E por fim, agradeço ao meu orientador Thiago Valente que esteve comigo diariamente presencialmente ou remotamente me ajudando em todo o processo, sempre paciente e esclarecedor.

## RESUMO

A demanda para o petróleo continua sendo muito alta levando em conta que a produção mundial se estima em cerca de 89,8 milhões de barris produzidos diariamente, utilizado para muitas finalidades, dentre elas a principal – energia -, move a economia global atualmente, gera lucros e aumento de capital para os países portadores deste recurso natural. O Brasil apresenta concentração na sua produção nos estados Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte. A cidade de Macau localizada no Rio Grande do Norte possui aproximadamente 78 poços de petróleo em operação no momento, atualmente com maior exploração em poços maduros anteriormente utilizados para extração. Apesar da prosperidade econômica proporcionada pelo petróleo e produção de gás natural, a corrosão tem sido um evidente empecilho para maior obtenção de lucros a partir do transporte, armazenamento e produção de derivados de petróleo, pois compromete as estruturas podendo ocasionar em vazamentos com prejuízo capital e ambiental, além de desastres naturais. Os objetivos deste trabalho são direcionados para melhor compreensão da relação entre corrosão e danos causados a dutos de petróleo e gás, bem como para comprovar os tópicos apresentados no referencial teórico, a partir da metodologia de um formulário online direcionado para um profissional atuante na indústria, este que constatou a veracidade dos fatos relatados pela pesquisa científica deste artigo – comumente a incidência de corrosões induzidas por ataques de gases ácidos e por bactérias BRS, presença de sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e gás oxigênio, diferença evidenciada na constituição de dutos a depender do meio em que estão inseridos, e mapeamento com cupons de corrosão citados anteriores à aplicação do formulário digital – concluindo o êxito no direcionamento da revisão bibliográfica.

Palavras-chave: Corrosão; Petróleo; Dutos; Oleodutos;

## ABSTRACT

The demand for oil continues to be very high, taking into account that world production is estimated at around 89.8 million barrels produced daily, used for many purposes, including the main one - energy -, it currently moves the global economy, generates profits and capital increase for countries with this natural resource. Brazil is concentrated in its production in the states of Rio de Janeiro and Rio Grande do Norte. The city of Macau located in Rio Grande do Norte has approximately 78 oil wells in operation at the moment, currently with greater exploration in mature wells previously used for extraction. Despite the economic prosperity provided by oil and natural gas production, corrosion has been an obvious obstacle to obtaining greater profits from the transport, storage and production of petroleum derivatives, as it compromises structures and can lead to leaks with capital and environmental damage, in addition to natural disasters. The objectives of this work are aimed at better understanding the relationship between corrosion and damage caused to oil and gas pipelines, as well as to prove the topics presented in the theoretical framework, based on the methodology of an online form aimed at a professional working in the industry, who verified the veracity of the facts reported by the scientific research in this article – commonly the incidence of corrosion induced by acid gas attacks and BRS bacteria, presence of hydrogen sulfide, carbon dioxide and oxygen gas, a difference evident in the constitution of ducts depending on the environment in which they are inserted, and mapping with corrosion coupons mentioned prior to the application of the digital form – concluding the success in directing the bibliographic review.

Keywords: Corrosion; Petroleum; Ducts; Pipelines;

---

<sup>1</sup> Aluna Mariana Ellen de Melo Medeiros do Curso Técnico Integrado em Química do

Instituto Federal do Rio Grande do Norte Campus Macau – RN. E-mail:

[mariana.ellen@escolar.ifrn.edu.br](mailto:mariana.ellen@escolar.ifrn.edu.br).

<sup>1</sup> Docente Thiago Valente Lima Alexandre do Curso Técnico Integrado em Química do

Instituto Federal do Rio Grande do Norte Campus Macau – RN. E-mail:

[lima.thiago@escolar.ifrn.edu.br](mailto:lima.thiago@escolar.ifrn.edu.br).

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 - Corrosão uniforme.....	5
Figura 2 - Corrosão intergranular.....	6
Figura 3 - Corrosão eletroquímica na corrente, e corrosão química na parede de concreto ao fundo.....	7
Figura 4: Corrosão galvânica/eletroquímica offshore.....	9
Figura 5 - Corrosão erosão em maquinário de bombeamento.....	11
Figura 6: Corrosão sob tensão.....	12
Tabela 1: Concentrações de gases presentes em atmosferas urbanas.....	13
Figura 7: Superfície sob ação de corrosão atmosférica.....	14
Figuras 8 e 9: Oleodutos e Gasodutos.....	15
Figura 10: Corrosão alveolar/pontual.....	16
Figura 11: Ação corrosiva da água do mar em boia marítima.....	18
Figura 12: Formação de fouling [1].....	18
Figura 13: Formação de fouling [2].....	21
Figura 14: Tinta anti-incrustação isenta de cobre. International Tintas S.A (Grupo Akzo Nobel).....	22
Figura 15: Manchas por vazamento de petróleo no mar.....	24
Tabela 2: Fatores influenciadores de corrosão, suas pontuações, porcentagens e comparativos.....	27
Figura 16: Cupons de corrosão.....	29
Figura 17: Mapa geográfico da cidade de Macau.....	30

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
3.1. O que é corrosão.....	4
3.2. Corrosão por ação química.....	7
3.2.1. O que é oxirredução.....	8
3.3. Quanto ao processo corrosivo.....	8
3.4. Meios corrosivos.....	13
3.5. Como a maresia interfere na corrosão.....	17
3.6. Métodos de combate a corrosão.....	19
3.6.1. Inibidores de corrosão.....	19
3.6.2. Revestimentos.....	20
3.6.3. Eficiência das películas como agentes protetores.....	22
3.7 Dutos transportadores de petróleo e gás.....	23
3.7.1 Oleodutos e Gasodutos.....	23
3.7.2 Principais causas de vazamento.....	23
3.8.1 Regulamento técnico de dutos terrestres para movimentação de petróleo – RTDT.....	27
3.8.2 Técnicas de monitoramento da corrosão.....	28
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	36
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	37

## **1. INTRODUÇÃO**

O petróleo é um combustível fóssil, um recurso natural não renovável e muito utilizado como fonte de energia para diversos países, os quais os detentores das maiores reservas possuem uma influência política e econômica. Dentre os países que se destacam no ramo petrolífero, pode-se citar: Estados Unidos, Arábia Saudita e Rússia como produtores e exploradores, Venezuela e Canadá como reservas abundantes.

O cenário atual do Brasil apresenta uma mudança nas instituições inseridas na indústria petrolífera, após a emenda constitucional nº 9 e a promulgação da lei 9.478/97 (“lei do petróleo”) houve uma flexibilização no monopólio de produção de petróleo, dando oportunidades para novas explorações, produções, refino de petróleo e transporte do mesmo.

A mudança na legislação implicou em uma atuação direta dirigida pelo Estado com intervenção estatal a partir de regulação, inclusive por meio do RTDT - Regulamento Técnico de Dutos Terrestres, isso causou um aumento na demanda de gás natural, tanto por vantagens econômicas e por ser uma viável fonte energética com pouco impacto ambiental no seu uso.

O gás natural anteriormente queimado, passou a ser mais bem aproveitado para consumo e tecnologia, sendo atualmente utilizado em residências, comércios, indústrias e principalmente em termelétricas, destacando o Brasil como um país da “indústria do gás natural”, tornando essencial a regulação de gás natural no setor petrolífero. Antes o foco sendo apenas a empresa Petrobras, passou a ser diferentes empresas nas ramificadas áreas derivadas da mesma matéria prima principal, estabelecendo uma competição saudável que fortifica o mercado.

O Nordeste é o maior produtor de petróleo onshore do Brasil com cerca de 72,9% da produção nacional, o estado do Rio Grande do Norte é o maior produtor dentre todos os estados da região Nordeste, com cerca de 178,3 milhões de barris produzidos e registrados durante o ano de 2022. No Rio Grande do Norte, as cidades de Mossoró, Alto do Rodrigues e Macau se destacam, com atuação efetiva das empresas 3R

Petroleum e Pecom, respectivamente; produtora e exploradora de recursos derivados de petróleo, e responsável por manutenção de dutos e operações nos poços.

Os dutos transportadores de petróleo e gás sofrem de um recorrente prejuízo causado pela corrosão e oxirredução, a troca ou perda de elétrons para o meio o qual está inserido, compromete a integridade e vida útil dos dutos, causando trincas, buracos, rachaduras e até mesmo explosões devido ao vazamento de gás, além também de perigos ambientais relacionados a contaminação da água ou do solo que abriga os equipamentos.

A corrosão causa impactos em toda indústria petrolífera, levando em consideração que o petróleo contém muitos metais pesados, e que as estruturas utilizadas no transporte e na refinaria do mesmo são constituídas de metal, que estão propensos a sofrer oxidação de matéria orgânica, maresia, umidade no solo e no ar, altas temperaturas, presença de microrganismos, madeira entre outros causadores.

Alguns métodos para combater o problema podem ser utilizados, como a utilização de películas de proteção, revestimentos metálicos ou não-metálicos, inibidores e retardantes das reações de troca de elétrons. Bem como, o monitoramento da taxa de corrosão e detecção de vazamentos, seguindo normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil, e pelo RTDT, para manter o cenário mais favorável possível para continuidade e prosperidade de toda indústria petroquímica.

Este trabalho tem como objetivo analisar a corrosão de dutos de petróleo e gás na cidade de Macau, indicando problemas causados e exemplificando o que acontece dado o contexto de cidades litorâneas, relacionando a química geral, a engenharia química, industrial e ambiental, além de problemas causados por oxirredução e apresentar métodos de combate condizentes com cada agente redutor.

## **2. OBJETIVOS:**

### **Objetivo Geral:**

- Analisar e apresentar uma revisão bibliográfica dos diferentes tipos de corrosão e seus fatores ocasionais mais comuns, e seu impacto na indústria petrolífera atuante em Macau, bem como a aplicação de um questionário para dois profissionais da área com objetivo de comprovar a pesquisa.

### **Objetivos Específicos:**

- Descobrir os tipos de corrosão ocorrentes nos oleodutos da região de Macau;
- Compreender como acontece a corrosão em dutos nas condições da cidade de Macau;
- Analisar e apresentar métodos efetivos para prevenir, retardar e controlar a corrosão nas condições da cidade de Macau;

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O que é Corrosão

Segundo Gentil (2011), a corrosão pode ser definida como o efeito de deterioração do material metálico na maioria dos casos, pode ser causada por ação química ou eletroquímica no meio ambiente, e ser aliada ou não à esforços metálicos. Segundo Luiz *et al.* (2020) essa interação entre material e meio o qual ele está inserido, representa alterações indesejadas e irreversíveis que prejudicam a estrutura do mesmo, como desgastes, e variações químicas, prejudicando assim sua vida útil. A corrosão trata-se de um processo espontâneo, que transforma materiais metálicos por meio da transferência de elétrons, com exceção de metais mais nobres, os compostos metálicos geralmente são encontrados na natureza como óxidos e sulfetos metálicos (RIBEIRO E HELENE, 2013).

Para Helene (2013), os compostos com conteúdo energético inferior aos metálicos, são considerados estáveis em comparação a eles, causando maior tendência de reação entre os metais com os líquidos e/ou gases presentes no meio ambiente. A corrosão pode ser apontada como inverso do processo metalúrgico, que tem como objetivo extrair metal a partir de seus minérios ou compostos diversos, enquanto a corrosão é a tendência de retornar para um composto estável (RIBEIRO e HELENE, 2013), isso explica a semelhança entre o produto da corrosão e o minério de origem o qual ele foi extraído no processo metalúrgico, o metal tende a retornar para sua condição que mais proporcione estabilidade.

Existem várias formas de corrosão, sendo as mais comuns; galvânica, generalizada, localizada, sob tensão e intergranular. (CHIQUITO, 2013) (CORREIA; SALTA, 2014) (GENTIL, 2011)

Na oxidação direta, a reação oxida diretamente no ânodo, além de acontecer transferências de elétrons do eletrodo em direção ao composto que sofrerá oxidação. (CAIRES, 2001)

A eletroquímica é a mais presente no cotidiano, e pode ser encontrada em todos os tipos de superfície que estejam expostas ao meio ambiente, tais quais como pontes, postes, tubulações, entre outras. Trata-se de um processo químico que o metal é corroído

devido a uma reação eletroquímica com presença de um eletrólito. Muito comum no meio aquoso o qual são submetidos metais como ferro, aço, cobre, alumínio etc. (CHIQUITO, 2013)

Na eletro-oxidação o efluente se conecta à uma corrente elétrica que pode receber ajustes por meio de eletrodos metálicos, que formam radicais com alto potencial oxidativo. O estímulo das reações causa a oxidação direta, essa qual a reação oxida o ânodo diariamente, enquanto a oxidação indireta forma radicais com alto poder oxidante, dentre eles, destacando-se o cloro ativo e o OH. (RIBEIRO e HELENE, 2013)

Segundo Jambo e Fofano (2008) quanto à morfologia:

- Localizada ou puntiforme
- Seletiva
- Intergranular ou transgranular
- Uniforme

A corrosão uniforme (Figura 1) ocorre quando toda a superfície do metal sofre o desgaste de maneira uniforme, a perda de espessura é igual, ou quase inteiramente por igual quando exposta ao meio corrosivo, podendo perder camadas do metal sucessivamente em alta temperatura recorrente.

Figura 1: Corrosão uniforme.



Fonte: Sulcromo (2020).

A localizada ou puntiforme é caracterizada como uma ou mais regiões isoladas apresentam corrosão em sua superfície, e pode apresentar o diâmetro médio maior ou até comparável com a profundidade original do metal afetado. Se manifesta bastante em aço carbono em meios ácidos, e aços inoxidáveis austeníticos em meio aquoso, principalmente com presença de sais. (JAMBO e FOFANO, 2008)

A seletiva é uma variação da corrosão galvânica, acontece quando um material multifásico possui diferentes taxas de corrosão, as ligas metálicas formam pares galvânicos. Um dos fatores contribuintes para isso, é a microestrutura de aço inoxidável dúplex, que independe de outros fenômenos (MATOS, 2015). Quando exposto a água do mar o ferro fundido cinzento tem tendência a sofrer deste tipo de corrosão, devido à sua região anódica (matriz ferrosa), ser corroída preferencialmente pelo cátodo. (JAMBO e FOFANO, 2008)

A intergranular ou transgranular (Figura 2) pode se apresentar em partes bem definidas da estrutura do metal, quando localizada ao longo dos contornos de grão, trata-se da intergranular, o que chega a acontecer com o aço inoxidável austenítico exposto a meios contendo íons Cl, Br, F, I, e At, mas depende também de outros fatores como condições de tensão, o processo feito na fabricação ou o meio que se encontra. Dependendo do meio, se houver sulfetos de hidrogênio causa a corrosão transgranular nos aços de carbono, e também soluções que tenham compostos solúveis de hidrogênio presente, como ácido fluorídrico, sulfídrico e sulfúrico. (CORREIA; SALTA, 2014) (JAMBO e FOFANO, 2008)

Figura 2: Corrosão intergranular.



Fonte: Sulcromo (2020).

### 3.2 Corrosão por ação química

Quando um agente químico atua sobre um determinado material, seja ele metálico ou não, ocasiona a corrosão por ação química. Alguns solventes são substâncias capazes de quebrar moléculas de polímeros para degradação, assim, sem ocorrer a transferência de elétrons entre eles. Metais que contém zinco como elemento de liga, pode apresentar, por exemplo o ácido sulfúrico exercendo papel de agente oxidante.

Segundo Jambo e Fofano (2008) na corrosão microbiológica os microrganismos agem de maneira intensiva no processo, elas se encontram em meios aerados e com uma vasta gama de pH, e também em meios completamente isentos de oxigênio que está presente na atmosfera.

No concreto armado das construções, a poluição é um agente primordial, assim como os poluentes presente na atmosfera que reagem quimicamente com o material, colaborando para sua degradação. (FÁBIO; GUIMARÃES; MAIRIER, 2011)

A corrosão eletroquímica (Figura 3) é uma das mais presente na indústria, pelo contato direto do metal com o meio corrosivo, que provoca uma reação química. Há duas formas de causar esse tipo de corrosão, a primeira é colocar o metal em contato com um eletrólito e formar uma pilha galvânica, e a segunda deve manter dois metais ligados por um eletrólito, que causará transferência de elétrons do ânodo para o cátodo e formar o produto da corrosão. A corrosão eletroquímica pode vir a ocorrer sempre que houver heterogeneidade no sistema, a diferença de potencial resulta na possível formação de áreas anódicas e catódicas. (CHIQUITO, 2013) (GENTIL, 2011)

Figura 3: Corrosão eletroquímica na corrente, e corrosão química na parede de concreto ao fundo.



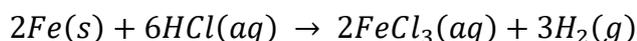
Fonte: Fogaça (2023).

A corrosão eletrolítica ou corrosão por eletrólise, apresenta correntes ocasionadas por potenciais externos, capazes de produzir casos severos de corrosão. Pode ser definida como deterioração de um metal forçado a funcionar como anodo ativo de uma pilha eletrolítica, e se apresenta muitas vezes em tubulações enterradas, onde ocorre uma corrosão localizada nas falhas do revestimento que protege as tubulações. (FERNANDES; PEREIRA, 2011) (GENTIL, 2007) (SANTOS; MAGNABOSCO, 2016)

### 3.2.1 O que é oxirredução

Oxidação trata-se do ganho de oxigênio por uma substância, e redução é a retirada do oxigênio. As reações de oxirredução apresentam variação do número de oxidação, perda e ganho simultâneo de elétrons. (RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, 2021)

Quando o ferro é atacado por ácido clorídrico, ele desprende hidrogênio, como o seguinte exemplo:



Demonstrando que o ataque do ferro metálico por ácidos não oxidantes, que não possuem caráter oxidante em sua região aniônica, em caso de ácidos oxidantes como o ácido nítrico, representa-se:



Na reação de oxirredução há dois agentes, o agente redutor, e o agente oxidante, onde o elemento oxidado perde elétrons e atua como redutor, e o elemento reduzido ganha elétrons, atuando como oxidante. Pode-se dizer que o agente redutor é a substância ou íon que tem o elemento redutor, e o agente oxidante é a substância ou íon que tem o elemento oxidante. (AMARAL; FREITAS, 2011) (GENTIL, 2011)

## 3.3 Quanto ao processo corrosivo

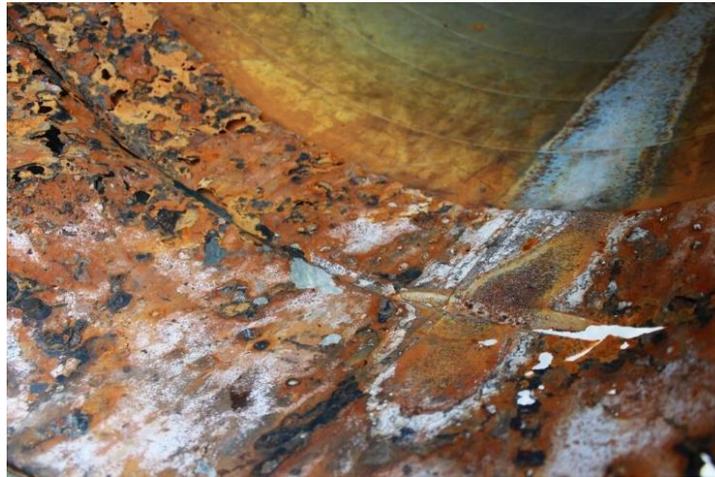
Quanto a fenomenologia da corrosão:

- Galvânica
- Célula oclusa

- Corrosão-erosão
- Corrosão-fadiga
- Corrosão sob tensão
- Corrosão atmosférica
- Corrosão microbiológica
- Ataque pelo hidrogênio

A galvânica (Figura 4) ocorre quando dois ou mais metais se ligam eletricamente em um eletrólito, causando a transferência de elétrons do metal menos nobre para o mais nobre, formando as pilhas galvânicas. O que justifica a oxidação dos metais menos nobres, em contrapartida os mais nobres se encontram protegidos. Sendo assim, um corroído após o outro. (BARBOSA *et al.*, 2016) (RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT, 2021)

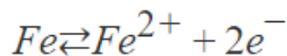
Figura 4: Corrosão galvânica/eletroquímica offshore.



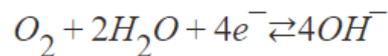
Fonte: Sulcromo (2020).

A corrosão por célula oclusa é um processo que depende da forma pelo qual ele se apresenta, por fresta ou depósito, essa diferença é causada pela diferença de potencial eletroquímico, em uma região com maior concentração de íons em comparação à outra. Se sob a superfície metálica houver algum depósito orgânico ou não, que cause essa diferença de aeração causa duas regiões, catódica e anódica. Sendo esses, casos particulares da corrosão por célula oclusa, vindo a ser uma perda localizada de metal em

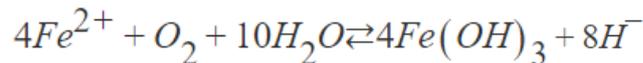
um ponto, como por exemplo, um menisco demarcado pelo próprio material presente naquele meio, sendo ele orgânico ou não, desde que cause essa diferença notável. A região aerada catódica se encontra sob uma linha d'água que a separa da região não aerada anódica que apresenta formação de hidróxidos, e abaixo dela, a superfície metálica submersa. Se estabelecendo assim, a diferencial de potencial, ocorre o fluxo de elétrons em direção à zona catódica segundo a reação (para o ferro): (JAMBO e FOFANO, 2008)



Reação de alcalinização do meio próximo às zonas catódicas (passivas):



Com a reação de corrosão do ferro, forma-se o hidróxido com o gás oxigênio presente no meio da solução.



A camada de hidróxido forma um filtro capaz de impossibilitar a troca iônica, mas não a entrada do gás oxigênio. Pela hidrólise pode-se verificar que ocorre grande acidificação do meio, o que contribui consideravelmente para o aumento da corrosão. (JAMBO e FOFANO, 2008)

Segundo as considerações da Revista Soldagem e Inspeção (2012), o “Sistema de Instrumentação e Monitoramento de um *Loop* Para Realizar Ensaios de Corrosão-Erosão” a corrosão-erosão (Figura 5) é a combinação de diferentes fenômenos, muito presente na exploração marítima de petróleo, componentes e equipamentos podem apresentar uma vida útil curta, como as válvulas do tipo *choke*.

Figura 5 - Corrosão erosão em maquinário de bombeamento.



Fonte: Sulcromo (2020).

A corrosão-fadiga é influenciada pela frequência das vibrações mecânicas, em razão do componente de corrosão do fenômeno que depende do tempo, o mesmo número de ciclos em diferentes frequências representa diferentes tipos de exposição ao meio corrosivo que ele se encontra (REVISTA SOLDAGEM E INSPEÇÃO, 2012). Os meios aquosos causadores, são numerosos, e não específicos, a maior resistência é esse tipo de corrosão é a alta resistência mecânica do material alvo da reação. Nesse caso, o tratamento térmico não ameniza, se elementos de liga forem incrementados a resistência geral, as adições não influenciam na corrosão específica, além disso, a resistência em poços de água salgada, é menor do que em poços de água doce. (GENTIL, 2011) (SANTOS; MAGNABOSCO, 2016)

Segundo Martins et. al (2022) a corrosão sob tensão (Figura 6) ocorre quando há tensão mecânica e um meio susceptível, com tendências a sofrer modificações. Quando isolados, somente a tensão, ou o meio corrosivo não são capazes de causar o fenômeno abordado, esse tipo dificilmente é identificado e apresenta um perigo maior devido suas fraturas capazes de causar uma catástrofe. Normalmente, ela apresenta micro trincas ramificadas intergranulares ou transgranulares, enquanto elas atravessam a espessura do metal. (HINCAPIE; ALONSO-FALLEIROS, 2015)

Figura 6: Corrosão sob tensão.



Fonte: Sulcromo (2020).

A corrosão atmosférica pode ocorrer em qualquer metal que esteja exposto à atmosfera terrestre em condições normais de temperatura e pressão, dentre eles, estruturas, veículos, eletrônicos e equipamento de processo (JAMBO e FOFANO, 2008). Alguns dos principais elementos contribuintes para aumentar a resistência perante à corrosão atmosférica, são cobre, fósforo, cromo, níquel e silício. Os principais poluentes presentes na atmosfera urbana encontram-se listados na Tabela 1 a seguir. (REVISTA CORTE E CONFORMAÇÃO DE METAIS, 2013)

Tabela 1: Concentrações de gases presentes em atmosferas urbanas.

<b>Poluente</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Concentração (ppb)</b>
Ozônio	$O_3$	50-200
Peróxido de hidrogênio	$H_2O_2$	10-30
Dióxido de nitrogênio	$NO_2$	10-45
Ácido nítrico	$HNO_3$	1-10
Ácido sulfídrico	$H_2S$	0,1-0,5
Dióxido de enxofre	$SO_2$	5-24
Dióxido de carbono	$CO_2$	3-6.105
Ácido fórmico	$HCOOH$	4-20
Ácido acético	$CH_3COOH$	0,2-1,0
Ácido clorídrico	$HCl$	0,5-2,0

Adaptado de: Aoki (2021).

O ataque pelo hidrogênio apresenta-se em várias formas a depender do meio e do metal, causando severos danos internos e externos, podendo se manifestar como empolamento, trincamento induzido pelo hidrogênio, ou trincamento induzido sob tensão. (HINCAPIE; ALONSO-FALLEIROS, 2015) (JAMBO e FOFANO, 2008)

### 3.4 Meios corrosivos

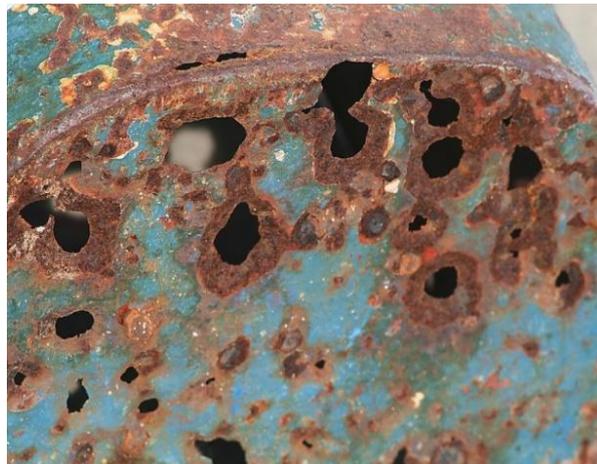
Segundo Gentil (2011) os meios corrosivos mais encontrados são; atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos, e até mesmo em menor escala se encontra os alimentos, substâncias fundidas, solventes orgânicos, madeira e plásticos. A natureza do meio corrosivo que está em contato com a superfície metálica.

A atmosfera como meio corrosivo destaca-se em ensaios de corrosão analisando vários materiais em diferentes regiões, focando em aço-carbono, zinco, cobre, alumínio e aço patinável. O alto número de estudos sobre a corrosão atmosférica (Figura 8), aponta que os custos financeiros que devem ser utilizados para consertar e substituir estruturas, chega a mais da metade do valor original utilizado anteriormente na produção,

construção e instalação de estruturas com base de armadura metálica. Alguns dos poluentes responsáveis por essa ação são os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, ozônio e particulados, essa corrosão age em função do grau de umidade na superfície do metal, podendo ser seca, úmida ou molhada.

A corrosão em atmosfera seca se manifesta sem se fazer necessária a presença de eletrólitos, sua oxidação é lenta e considerado puramente químico, a corrosão em atmosfera úmida acontece em umidade relativa inferior a cem por cento, apresenta uma fina camada de eletrólito depositados na superfície, e a velocidade a depende da umidade relativa, a corrosão molhada, a umidade relativa se encontra próximo de cem por cento, e há condensação na superfície do metal, que fica molhada com os eletrólitos tais como; chuva, névoa, ou salina. (CAMPOS *et al.*, 2016)

Figura 7: Superfície sob ação de corrosão atmosférica.



Fonte: Bruno Preima (2019).

Águas naturais estão em contato direto com o metal e o expõem a corrosão, além de também pode sofrer contaminação pelo produto de corrosão do metal, sendo os contaminantes mais frequentes:

- Gases dissolvidos
- Sais dissolvidos
- Matéria orgânica de origem animal ou vegetal
- Bactérias, limos e algas
- Sólidos suspensos

O pH também precisa ser levado em consideração, além da temperatura e ação mecânica exercida no metal. (AMARAL; FREITAS, 2011)

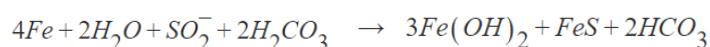
O solo possui grandes extensões de tubulações enterradas, tais como os oleodutos e gasodutos, podendo causar perfurações capazes de provocar vazamentos que posteriormente contaminarão o solo e lençóis freáticos, até mesmo com risco de explosões e incêndios. A presença de água, sais solúveis, gases, a acidez, pH, resistência elétrica e potencial redox são algumas das características físico-químicas. (GENTIL, 2007) (GOMES; SOUZA, 2021)

Figuras 8 e 9: Oleodutos e Gasodutos.



Fonte: Risks (2021).

De acordo com Pina et al. (2011), as condições microbiológicas do solo possuem influência direta, tais como a modificação na resistência de revestimentos e a origem de meios corrosivos. Os micro-organismos como as bactérias, influenciam na velocidade das reações anódicas e catódicas, as *desulfovibrio desulfuricans* são bactérias anaeróbicas que se desenvolvem na ausência de ar e recolhem somente a energia necessária para manter seus processos a serem realizados pelo metabolismo, gerando a seguinte reação de oxirredução:



Nesse caso, a corrosão chamada: corrosão alveolar ou pontual (Figura 10), se caracteriza pelos tubérculos que fazem notável profundos pites e a presença de sulfeto de ferro, alterando a coloração para preto e evidenciando o produto de corrosão. Sendo as condições favoráveis; pH entre 5,5 e 8,5, ausência de oxigênio, sulfato presente, além de nutrientes e matéria orgânica, e a temperatura entre 25°C e 60°C. (PINA et. al, 2011)

Figura 10: Corrosão alveolar/pontual.



Fonte: Sulcromo (2020).

Além das condições operacionais, tais como; condições climáticas, uso de fertilizantes, despejos industriais, profundidade, aeração diferencial, contato bimetálico e correntes de fuga. Os produtos químicos podem vir a ser contaminados ou deteriorados durante a operação de máquinas e equipamentos utilizados em processos químicos, a pureza do metal, o contato com metais dissimilares, a concentração, aeração, temperatura e pureza do produto químico utilizado, podendo evitar com o armazenamento, transporte e embalando esses produtos em materiais resistentes ao meio. Os solventes orgânicos são considerados eletrólitos e se relacionam com a presença de impurezas que os tornam corrosivos para os metais, sendo bem comum o vapor aquecido da água exercer ação sobre alguns solventes como clorofórmio, diclometano e tricloroetileno, produzindo a hidrólise deles, com formação de ácido clorídrico e o produto de corrosão. (GENTIL, 2011)

Apesar de não muito frequentes, a madeira e os polímeros como plásticos sofrem decomposição e originam produtos corrosivos, a madeira pode emitir vapores constituídos de ácido acético originados da hidrólise de substâncias orgânicas. A

madeira pode emitir vapores corrosivos de ácido acético, maior responsável pela corrosão, derivado da hidrólise dos polissacarídeos. A madeira passa por tratamento com preservativos, a fim de evitar sua decomposição microbiológica, pode ocorrer a lixiviação de íons que podem originar corrosão galvânica de metais que estão em contato com a madeira. Em regiões de proximidades a dutos, a presença de madeira aliada aos ácidos trazidos na extração de petróleo, apresentam risco direto as estruturas dos dutos (REVISTA CIENTÍFICA SEMANA ACADÊMICA, 2018).

Há um grande interesse em remover o H<sub>2</sub>S, devido a sua toxicidade aos seres humanos, este gás atinge a corrente sanguínea por meio da inalação e consegue penetrar nos pulmões. O corpo humano tem tendência a oxidar esse gás e o transformar em um produto tóxico que causa danos no sangue, ele também pode reagir com enzimas que contém metais como: cobre, ferro e zinco, formando sulfetos metálicos que prejudicam órgãos vitais do corpo. Quando há uma alta concentração do gás no ar, o corpo humano não consegue o oxidar, com o excesso agindo então no sistema nervoso, causando paralisia no sistema respiratório e levando a uma morte por asfixia. O cheiro ajuda a o identificar com facilidade e rapidez, apresenta um odor característico de ovo estragado, além da irritação aparente nos olhos. (MAINIER; ROCHA, 2003)

O H<sub>2</sub>S também causa corrosão em equipamentos metálicos e tubulações metálicas, dissociando a molécula em água e roubando elétrons do metal. O meio que contém o gás pode afetar o material por meio da corrosão sob tensão em temperaturas ambientes, ou por meio da corrosão sulfídrica em altas temperaturas. (TELLES, 2003)

### **3.5 Como a maresia interfere na corrosão**

A água do mar tem sua ação corrosiva determinada pela salinidade, as soluções de sais, gases dissolvidos, matéria orgânica viva e em decomposição, além dos sais; cloreto de sódio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, bicarbonato de cálcio etc. A variação de temperatura, presença de agentes poluentes e áreas de exposição diferentes. Como a água do mar é um forte eletrólito, os metais ligados e expostos ao meio marinho e submersos na água sofrem corrosão acentuada (Figura 11). (GENTIL, 2011)

Figura 11: Ação corrosiva da água do mar em boia marítima.



Fonte: Bruno Preima (2019).

Pode-se dizer que quando um material está submerso em água do mar imediatamente inicia a formação de fouling (Figura 13), (crescimento biológico) que se divide em três fases, podendo ocorrer simultaneamente. Sendo eles; formação de filme microbiológico sob a forma de limo, a fixação de organismos macroscópicos, cracas, moluscos, algas, brionários e anelídeos. O biofouling (vida vegetal) também possui influência na taxa de corrosão, a geração de oxigênio e consumo de gás carbônico, além da vida animal que repete o mesmo ciclo de consumo e geração. (MARTINS; MOTA; GUERREIRO, 2013)

Figura 12: Formação de fouling [1].



Fonte: Melissa Fryer (2021).

A salinidade é um mecanismo eletroquímico do processo corrosivo em água, os sais presentes na água tornam o eletrólito forte e aumentam sua ação corrosiva, apesar do sal presente na água do mar não ser o cloreto de sódio, ela possui quantidades

significativas de bicarbonato de cálcio e sulfato de magnésio, que podem agir como inibidores catódicos. Na área catódica há formação de íons hidroxila OH<sup>-</sup> e o pH se eleva e há a formação de compostos insolúveis de carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio. (FÁBIO; GUIMARÃES; MAIRIER, 2011)

Para evitar corrosão em tubos de cobre por água quente e fria, o cobre deve atender às especificações e não apresentar traços de carbono, deve haver uma inspeção cuidadosa na montagem e acionar inibidores de corrosão tais como; silicato de sódio, 15 ppm. (SOUZA, 2010)

Deve-se evitar alta velocidade e alta temperatura, controle de velocidade de escoamento entre 0,9 e 1,2 metros por segundo, e temperaturas abaixo de 60 graus Celsius. Vale ressaltar que não é recomendado o uso de benzo e toliltriazol em água utilizada para consumo humano. (SOUZA, 2010)

Tubulações de aço galvanizado sofrem corrosão mais intensa a partir de 65°C, a película se torna porosa e menos aderente, acima de 75°C ela assume o oposto, se tornando mais aderente, densa e compacta. (BARBOSA *et al.*, 2016) (SOUZA, 2010)

### **3.1 Métodos de combate a corrosão**

A corrosão pode ter consequências de natureza econômica como substituição de equipamento corroído, suspensão do uso do equipamento danificado, manutenção preventiva, contaminação e perda de produtos, baixo desempenho eficiente do equipamento tais como trocadores de calor, bombas e caldeiras. (FELIPE *et al.*, 2013)

Deve-se levar em consideração as variáveis dependentes do metal, da forma que foi empregado e do meio corrosivo. O fator econômico é primordial e deve ser priorizado, pois qualquer medida de proteção traz vantagem ao reduzir o custo de manutenção ou até mesmo de substituição. (FELIPE *et al.*, 2013)

#### **3.6.1 Inibidores de corrosão**

Segundo Gentil (2011), inibidor é uma mistura de substância ou apenas uma substância pura, que ao estar em concentrações adequadas pode reduzir ou eliminar a corrosão, mas antes é preciso analisar as causas da corrosão no sistema, e o custo da utilização dos inibidores, que visam o aumento de vida útil do equipamento a ser

protegido, eliminar paradas não programadas previamente, prevenir acidentes causados por fraturas na estrutura, e ausência de contaminação de produtos.

Os inibidores de corrosão se classificam em orgânicos e inorgânicos, oxidantes, não oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção. Existem também os inibidores utilizados para uma proteção temporária, pode acontecer corrosão durante o transporte, fabricação ou estocagem dos materiais, algumas medidas usuais de proteção devem ser adotadas como ventilação, desumidificação, controle de impurezas presentes no ar, utilização de substâncias anticorrosivas formadoras de películas de proteção, além do uso de embalagem adequada com inibidores voláteis e desidratantes. (DIAS, 2007) (R9 REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA, 2013)

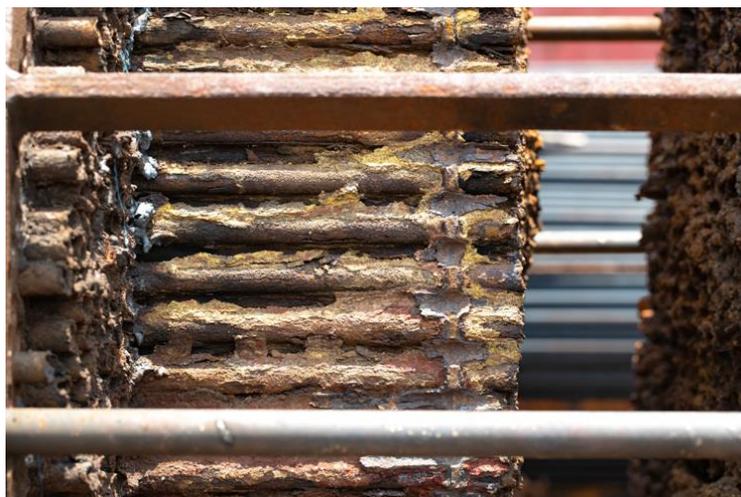
Os inibidores reduzem a ação de catalisadores pois ficam adsorvidos neles, causa uma queda de eficiência térmica, e possibilita a proteção de um material, mas podem atacar outro que esteja presente, como as aminas, que inibem o aço de corrosão, mas atacam cobre e suas ligas. (REVISTA CIENTÍFICA SEMANA ACADÊMICA, 2018)

Deve haver condições adequadas de adição e controle para evitar formação de depósito de fosfatos, carbonatos de cálcio e silicatos que podem dificultar as trocas térmicas, e também para evitar reações entre inibidores e contaminantes do meio corrosivo, que podem formar produtos insolúveis, além de problemas de saúde devido a toxicidade de alguns produtos compostos dos inibidores. (GENTIL, 2011) (RODRIGUES *et al.*, 2008)

### 3.6.2 Revestimentos

As incrustações podem acelerar ou retardar o processo corrosivo de alguns materiais metálicos submersos na água do mar, o fouling (Figura 13) acelera o processo corrosivo quando o crescimento é descontínuo e a corrosão é mais localizada, as ostras depositam limo orgânico, mas ao recobrir continuamente toda a superfície metálica pode impedir a penetração de água e diferentes concentrações de oxigênio abaixo do limo, evitando a propagação da corrosão por aeração diferencial. (GENTIL. 2007) (MARTINS; MOTA; GUERREIRO, 2013)

Figura 13: Formação de Fouling [2]



Fonte: Melissa Fryer (2021).

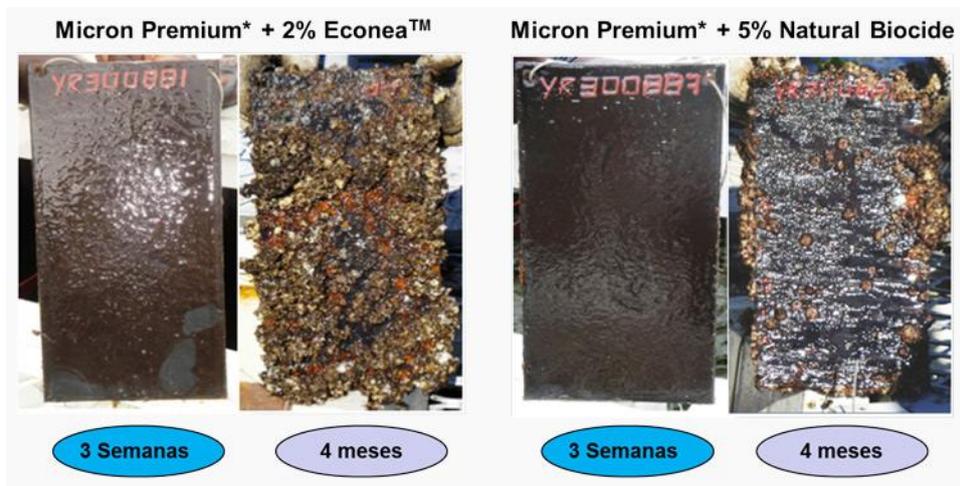
Alguns inibidores muito utilizados são; uso de cloro, revestimento com camada de liga cobre-níquel, revestimento de plástico teflon, revestimento com tintas incrustantes sendo esse um dos mais utilizados. (FERNANDES; PEREIRA, 2011) (SOUZA, 2010)

Em ambientes como lama, ou no lodo, pode haver bactérias anaeróbicas, a depender da presença de gás, origina a formação de gases tais como;  $H_2S$  (ácido sulfídrico),  $NH_3$  (amônia),  $CH_4$  (metano), devido à falta de oxigênio e ausência de ação bacteriana. A formação de gás sulfídrico por decomposição de organismos mortos acaba por recobrir o organismo menor, somando isso ao fato do meio ácido, acelera o processo corrosivo, juntamente com a formação de amônia. (OLIVEIRA; FERREIRA, 2019) (REVISTA CORTE E CONFORMAÇÃO DE METAIS, 2013)

O revestimento com tintas anti-incrustantes tem se tornado mais frequente em superfícies metálicas submersas na água do mar, e também em cascos de embarcações, o óxido cuproso se dissolve e libera íons cuprosos, que ocasionam um meio tóxico para os organismos presentes no meio, impedindo assim a formação de fouling. (GENTIL, 2011)

Demonstração de tintas anti-incrustantes e da sua ação ao longo das semanas e meses após sua aplicação (Figura 14):

Figura 14: Tinta anti-incrustação isenta de cobre. International Tintas S.A (Grupo Akzo Nobel)



Fonte: Albert et al. (2018)

Fouling é um filme de organismos microscópicos que serve de base para fixação de macrorganismos, formado por grandes plantas e animais multicelulares. A temperatura alta no verão contribui para o crescimento do fouling. O cobre metálico também apresenta eficiência, pois ao sofrer corrosão ele também libera íons cuprosos. Algumas combinações de agentes dispersantes são utilizados com a finalidade de fluidizar o fouling para o desprender da região mais crítica do metal, dispersar o fouling para prevenir que ele se deposite novamente, facilitar ação de biocidas para interromper o crescimento biológico, e controlar o material suspenso. (GENTIL, 2007)

Agentes anti-incrustantes são produtos químicos utilizados com o objetivo de evitar deposição e acúmulo de sais, são divididos em complexantes e de superfície. Os agentes complexantes são chamados de quelantes ou sequestradores, são aplicados em sistemas pequenos e fechados, um dos mais utilizados é o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), que complexa cálcio, magnésio, ferro, cobre e alumínio em diferentes valores de pH. (DIAS, 2007) (GENTIL, 2007)

### 3.6.3 Eficiência das películas como agentes protetores

Algumas bactérias modificam a resistência das películas protetoras, elas são conhecidas como bactérias celulolíticas, que em alguns casos são utilizadas como revestimento de tubulações enterradas, a celulose pode ser oxidada pela bactéria *Butyribacterium rettgeri*, e produzir ácido acético, butírico e dióxido de carbono, mas

pode causar a deterioração tanto do revestimento, como da própria tubulação devido a formação dos ácidos, essa corrosão é mais frequente em meios anaeróbios ou pouco aerados. (FERNANDES; PEREIRA, 2011) (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2013)

A formação de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  ou de sulfato  $SO_4^{2-}$  torna o solo mais corrosivo ao diminuir o pH e a resistividade elétrica do mesmo. As mais frequentes são as bactérias redutoras de sulfato, que podem ser facilmente identificadas pelo odor de gás do ácido sulfídrico  $H_2S$ , quando o solo é escavado ou ao observar a presença de manchas escuras no solo nas proximidades de onde a tubulação se encontra enterrada. (GENTIL, 2011)

### **3.7 Dutos transportadores de petróleo e gás**

#### **3.7.1 Oleodutos e gasodutos**

Os oleodutos e gasodutos são inspirados nos aquedutos utilizados para transporte de água, são essenciais nas operações de indústrias do setor de óleo e gás, responsáveis por distribuir o petróleo e gás natural produzidos. Após a produção, é necessária a segurança eficaz até a refinaria responsável em transformar a matéria prima em derivados. Até o ano de 2019 o Brasil possuía cerca de 7500 km dos oleodutos por todo território nacional, que transportavam até 10 milhões de metros cúbicos de capacidade, 543 tanques de armazenamento, 20 terminais terrestres e 27 aquaviários que levavam o petróleo até as refinarias, bases de processamento e de distribuição.

Já o gás natural é transportado por gasodutos. A Transpetro, empresa subsidiária da Petrobras, é responsável por mais de 7.155 km de gasodutos que integram as regiões sudeste e nordeste. A capacidade diária dos 69 gasodutos e ramais é de 105 milhões de metros cúbicos nos 29 pontos de recebimento, 137 pontos de entrega e 18 estações de compressão.

#### **3.7.2 Principais causas de vazamento**

Na maioria dos casos, uma parte considerável do duto é revestido por compostos orgânicos, e a menor parte corresponde a áreas expostas eventualmente, na corrosão externa a proteção catódica traz consigo a preocupação na alteração do seu potencial causada por furos e falhas no revestimento. Na corrosão interna pode-se observar três fases no interior do duto analisado, que pode se relacionar com o petróleo que transita

pelos dutos. Com solução aquosa resultante da extração dos poços, e também com a presença de gases. (SANTOS, 2016)

Figura 15: Manchas por vazamento de petróleo no mar.



Fonte: Pensamento Verde (2013).

Para identificar ameaças deve-se classificar: quanto ao comportamento temporal das anomalias que podem ser dependentes do tempo, estáveis, e independentes do tempo; quanto ao tipo de falha que podem ser corrosão externa, interna, sob tensão, defeitos de fabricação, ações de terceiros, danos mecânicos, danos causados por forças ambientais, falhas humanas, defeito de soldagem e defeitos em equipamentos; quanto as causas básicas podem ser defeito no tubo, enrugamento, falha de acoplamento, falhas em juntas, falhas em equipamentos de controle, danos imediatos ou anteriores, baixa temperatura, erro operacional, temporal e deslizamento de terra. (ARAUJO, 2012) (CORREIA; SALTA, 2014)

A escolha do método de análise de risco deve ser entre qualitativo ou quantitativo de acordo com escolha do operador de dutos.

A norma ASME B31.8S indica testes hidrostáticos, inspeção interna por pig, e avaliação direta como métodos de avaliar a integridade do duto.

Segundo a norma API 1160 dutos que transportam líquidos não devem possuir restrições quanto ao material utilizado na fabricação deles, ela ressalta também a necessidade de coletar e integrar informações com a finalidade de conhecer as condições de risco e a partir disto, elaborar um plano de gestão de integridade com as medidas a

serem tomadas. Deve conter os tipos de anomalias descritas e suas causas principais, os métodos de reparo, um formulário para registro de vazamentos.

### **3.8 Monitoramento de corrosão**

Outro importante método é o segundo Muhlbauer, que detalha o gerenciamento de risco, o qual avalia atividades ligadas a manutenção, inspeção e reintegração dos dados coletados para análises de riscos a serem feitas posteriormente, tendo uma base utilizada para comparativo. (ARAÚJO, 2012) (LIMA *et al.*, 2012)

Os ensaios de corrosão são feitos para caracterizar a agressividade do meio corrosivo e auxiliar no controle da corrosão, é necessária uma variedade de ensaios pois os fenômenos de corrosão se multiplicam. Para obter um resultado precisamente analítico deve-se fazer várias análises por meio de ensaios. Os ensaios podem ser feitos em laboratório ou em campo a depender dos objetivos a serem alcançados. (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2013)

Os ensaios de laboratório são úteis para estudar o mecanismo do processo corrosivo, determinar efeitos ocasionados pelos materiais metálicos nas características do meio corrosivo, contaminação por produtos de corrosão em processamento, armazenamento e transporte, além de também indicar o material metálico mais adequado, determinar se determinado metal, revestimento ou liga atende as especificações do ensaio, indicar um material metálico mais adequado para aquele meio corrosivo. (ARAÚJO, 2012) (LIMA *et al.*, 2012)

Os ensaios de campo são úteis para selecionar o material mais adequado para um meio corrosivo, fazer uma estimativa da durabilidade do meio ao longo dos seguintes meses, e estudar a eficiência de medidas de proteção anticorrosiva. (GENTIL, 2007) (OLIVEIRA; FARIAS; CABRAL, 2016)

Segundo Gentil (2011), o monitoramento pode ser caracterizado como uma forma sistemática de medir a corrosão ou degradação de um determinado componente de um equipamento, a fim de auxiliar a compreensão do controle da corrosão e suas consequências. As técnicas de monitoramento possibilitam diagnosticar problemas e otimizar o controle e uma melhor escolha de inibidores. O monitoramento pode indicar a composição química da carga ou do meio corrosivo, teor de contaminantes e temperatura do processo. Os sistemas de monitoramento online são utilizados para

observar a cinética do processo corrosivo por meio de sondas. (CAMPOS *et al.*, 2016) (OLIVEIRA; FARIAS; CABRAL, 2016)

Dentre os objetivos de um programa de monitoramento de corrosão, podemos citar a execução de testes e ensaios para avaliar o comportamento dos materiais, auxilia o desenvolvimento e aprimoramento do controle de corrosão e pesquisa na área científica, analisa falhas derivadas da corrosão e diagnóstico online da situação da superfície após exposição ao meio, ele também avalia os procedimentos de prevenção e controle adotados, determina a taxa de corrosão e caracteriza a natureza do ataque corrosivo. (GENTIL, 2007)

Os métodos de monitoramento podem ser classificados em; não destrutivos – ultrassom, emissão acústica, radiografia, correntes parasitas, exame visual, termografia e líquido penetrante, entre outros; analíticos - análise química, teor de oxigênio, atividade microbiológica e pH; métodos de engenharia de corrosão - os elementos não eletroquímicos, resistência elétrica, provadores de hidrogênio, resistência à polarização, amperimetria de resistência nula, potencial de corrosão, impedância eletroquímica, cupons de hidrogênio e ruído eletroquímico. (ARAUJO, 2012) (OLIVEIRA; FARIAS; CABRAL, 2016)

Tabela 2: Fatores influenciadores de corrosão, suas pontuações, porcentagens e comparativos.

<b>CORROSÃO</b>		
<b>Fator Influenciador</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Peso</b>
<b>Corrosão Atmosférica</b>	0 – 10 pts	10%
Revestimento de Proteção	0 – 3 pts	
Tipos de atmosfera	0 – 2 pts	
Forma de exposição do duto à atmosfera	0 – 5 pts	
Corrosão Interna	0 – 20 pts	20%
Corrosividade do Produto	0 – 10 pts	
Prevenções	0 – 10 pts	
Corrosão Externa	0 – 70 pts	70%
Esforços mecânicos atuantes no duto	0 – 5 pts	
Corrosividade do solo	0 – 15 pts	
Condições do meio em que o duto está instalado	0 – 20 pts	
Proteção Catódica	0 – 25 pts	
Correntes de interferência	0 – 10 pts	
Eficiência da Proteção Catódica	0 – 15 pts	
Revestimento	0 – 25 pts	
Adequação (Qualidade e Aplicação)	0 – 10 pts	
Condições (Inspeção e Correções)	0 – 15 pts	
<b>Total</b>	<b>0 - 100 pts</b>	<b>100%</b>

Adaptado de: Araujo (2012).

A avaliação deve ser feita periodicamente em cada trecho ao decorrer da linha de dutos, para verificar alterações e priorizar ações a serem tomadas para redução de riscos, a considerar tanto a corrosão, erros operacionais, falha humana, e também a frequência de vazamento declarada ao longo dos anos. (ARAUJO, 2012)

### 3.8.1 Regulamento técnico de dutos terrestres para movimentação de petróleo - RTDT

O regulamento técnico de dutos terrestres para movimentação de petróleo foi instituído em 2011 por meio da Resolução ANP nº 6/2011, esse regulamento estabelece requisitos essenciais e padrões mínimos de segurança a serem seguidos para a operação de dutos terrestres tais como; oleodutos e gasodutos, incluindo os submersos, visando a

proteção da população como um todo, meio ambiente e empresa e funcionários responsáveis por operarem os dutos. As normas também se aplicam para o processo de desativação, operação e construção de novos dutos terrestres. (ANP, 2011)

O RTDT abrange dutos de escoamento da produção de petróleo e gás natural de áreas sob contrato de produção marítima; dutos terrestres; trechos terrestres de dutos portuários de terminais, de refinarias e de bases de distribuição; poços do sistema de coleta da produção; tubulações internas de unidade marítimas de perfuração e produção. (ANP, 2011)

### 3.8.2 Técnicas de monitoramento da corrosão

As técnicas de monitoramento de corrosão são excelentes medidas preventivas e atenuantes contra os danos causados pelo processo corrosivo, com objetivo de garantir a integridade do duto e evitar substituições e prejuízos. As técnicas mais utilizadas para avaliação de corrosão interna são: Cupons de perda de carga de massa, as técnicas de monitoramento da corrosão são ótimas medidas de prevenção e mitigação contra os danos causados por esse processo, garantindo a integridade do duto e evitando paradas desnecessárias, substituição e grandes prejuízos.

Algumas das técnicas utilizadas na avaliação da corrosão interna são: - Cupons de perda de carga de massa; - Pigs instrumentados; - Ondas guiadas; - Tomografia Magnética; - Sondas corrosimétricas de resistência elétrica. - Monitoração Não-Intrusiva pelo FSM. (TERZI; MAINIER, 2008)

Cupons de perda de carga de massa A monitoração da corrosão por cupons de perda de massa é uma técnica que avalia e determina a taxa de corrosão através da perda de massa por cupons provedores de corrosão. É uma técnica bastante utilizada para avaliar a deterioração dos sistemas de produção de petróleo. São introduzidos nos dutos em operação pequenas chapas em aço carbono, denominadas cupons de corrosão, através de equipamentos especiais. O mecanismo de corrosão deve ser determinado de maneira que os fatores de controle da taxa possam ser isolados e controlados. Isso pode requerer vários tipos de análises físicas e químicas, observações e medições, junto com um rigoroso diagnóstico da interpretação dos resultados (FERNANDES, 2012).

Figura 16: Cupons de corrosão.



Fonte: Correia (2018).

Sendo uma técnica gravimétrica, a taxa de corrosão é calculada a partir da diferença de massa observada no cupom. Diferentes classificações de corrosividade podem ser obtidas. Segundo a NACE RP 0775/87 [2005], a classificação qualitativa das taxas de corrosão uniforme para sistemas em campos de produção de petróleo pode ser dada por: - Baixa  $< 0,025$  mm/ano. - Moderada  $0,025 \sim 0,126$  mm/ano. (TERZI; MAINIER, 2008)

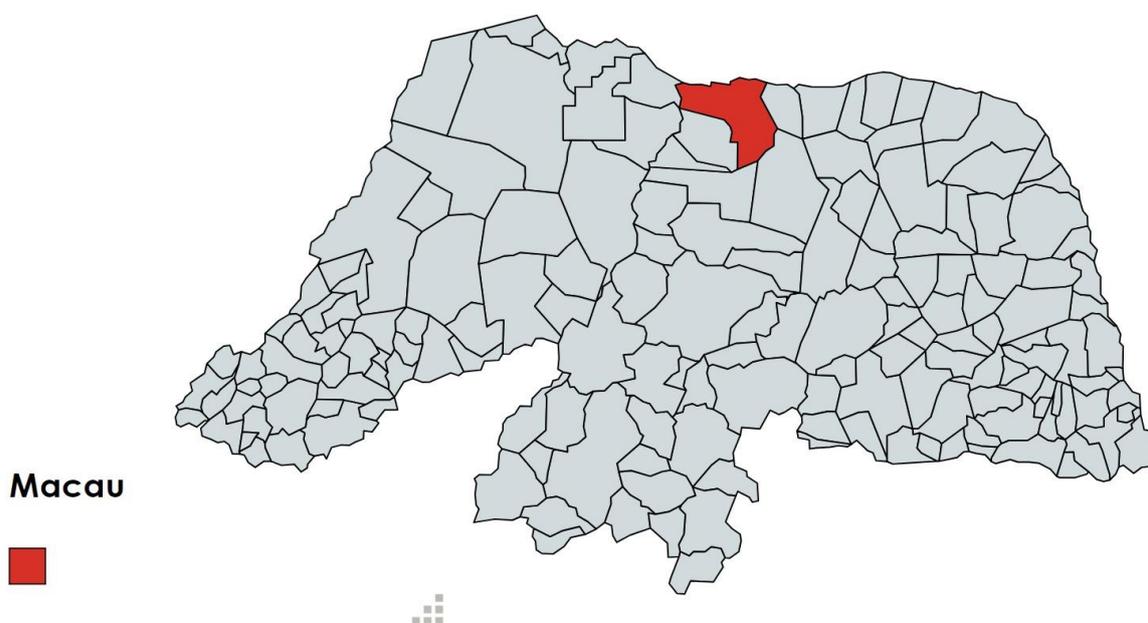
A taxa de corrosão pode ser medida por meio do monitoramento de dispositivos elétricos, modelos mecanicistas, e comparativo de resultados obtidos em inspeções anteriores, o valor estimado fornecido para taxa de corrosão a partir dos registros por pigs instrumentados em regiões mais profundas. (RODRIGUES *et al.*, 2008)

A taxa de corrosão deve ser analisada após a realização do ensaio de corrosão e limpeza do corpo, deve ser feita a verificação do peso previamente, e subtrair do peso após o ensaio, considerando que a massa se altera devido ao produto gerado pela corrosão. A unidade mais utilizada para expressa a taxa de corrosão é o *mdd* (miligramas por decímetro quadrado de área exposta por dia), devido à dificuldade de visualizar a profundidade do ataque, é indicado a conversão da unidade para outras que possam indicar a penetração ao ano, a *ipy*. (GENTIL, 2011)

#### 4. METODOLOGIA

Macau é uma cidade litorânea localizada no interior do Rio Grande do Norte, que possui cerca de trinta e dois mil habitantes. A maresia é um fenômeno recorrente em cidades com essa característica, o litoral traz como consequência a umidade do ar e a presença de água - que oxida os metais das proximidades, dentre eles estão as estruturas públicas, estruturas privadas, eletrônicos e eletrodomésticos -.

Figura 17: Mapa geográfico da cidade de Macau.



Fonte: Criação própria. (2023)

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2020) cidade de Macau pertence a uma região intermediária entre Mossoró e Açu, incluída na mesorregião central Potiguar, localizada a 182 quilômetros de Natal, possui a maior costa litorânea com aproximadamente 40 quilômetros de praias, suas limitações consistem em; Afonso Bezerra, Pedro Avelino e Pendência ao sul, Guamaré a leste, Porto do Mangue, Pendências e Carnaubais a leste. Ocupando um território de aproximadamente 775 quilômetros quadrados.

O produto Interno Bruto (PIB) de Macau é estimado em 728,5 milhões de reais, sendo grande parte da contribuição de indústrias de sal, petróleo, gás, administração pública e agropecuária. (IBGE, 2020)

O estudo de caso a ser apresentado, trata-se de uma aplicação prática de um questionário direcionado para um profissional de engenharia química atuante na área de dutos de petróleo e gás em Macau – RN, com o objetivo de coletar informações para comprovar os dados estruturais apresentados no referencial teórico feito anteriormente, bem como para constatar os problemas previstos para cidades com características litorâneas, no ponto de vista da química. Os resultados obtidos a partir do questionário aplicado, foram apresentados como fundamentação teórica para este trabalho.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Regulamento Técnico de Dutos Terrestres – RTDT anteriormente citado como responsável por estabelecer os requisitos a serem cumpridos para segurança de operação de oleodutos e gasodutos, e incluindo também os submersos em água, se expande para critérios de construção, operação, desativação de dutos existentes, ou ativação de futuros dutos a serem instalados, refinarias, dutos portuários de terminais, tubulações internas de unidades marítimas de produção e perfuração, poços, mangotes, e coleta de produção.

O regulamento deve ser seguido cuidadosamente para manter a segurança da população geral, dos trabalhadores das empresas petrolíferas, e para proteção ambiental.

Para verificar o seguimento correto das normas estabelecidas, a aplicação de um formulário digital na intenção de obter confirmação dos dados apresentados na revisão bibliográfica, bem como para realizar um comparativo entre as respostas dos dois funcionários - um engenheiro químico e um coordenador de qualidade e inspetor de solda -, os quais foram direcionadas as perguntas a serem abordadas a seguir, porém apenas um dos funcionários pôde participar da pesquisa,

Na primeira pergunta foi questionado “Quais tipos de corrosão são mais recorrentes em Macau?”, a qual a resposta obtida foi: “Corrosões induzidas por ataques de Gases Ácidos e por Bactérias BRS”; confirmando as citações a respeito da presença de gases dissolvidos no ar e na água, e a presença de bactérias redutoras de sulfato, que o oxida para produzir alimento e energia para si, consumindo parte da estrutura metálica que constitui os dutos, causando comprometimento da mesma. (GENTIL, 2007; GOMES; SOUZA, 2021)

A formação de gases ácidos, como o gás sulfídrico a partir da decomposição de organismos mortos contribui para acelerar o processo corrosivo. (GENTIL, 2011; OLIVEIRA; FERREIRA, 2019) As bactérias responsáveis por reduzir sulfatos, também alteram a resistência das películas que protegem os dutos, a oxidação de celulose por essas bactérias pode produzir ácido acético, ácido butírico e dióxido de carbono juntamente com o gás sulfídrico. (FERNANDES; PEREIRA, 2011; FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2013; REVISTA CORTE E CONFORMAÇÃO DE METAIS, 2013)

Na segunda pergunta foi questionado “Quais substâncias são mais prejudiciais para as estruturas dos dutos?”, a qual a resposta obtida foi: “H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.”; como citado anteriormente, de acordo com Gentil (2011), dentre os meios corrosivos, dentre

as substâncias presentes contribuintes para a corrosão se destacam o sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e gás oxigênio. De acordo com Campos et al. (2016), os dióxidos agem de acordo com a quantidade de umidade localizada na superfície do metal atacado, reafirmando que gases dissolvidos estão entre os contaminantes mais frequentes nos produtos de corrosão de metais.

Tendo em vista que os gases roubam elétrons dos metais através da troca dupla, oxidando e os deixando frágeis propensos a deterioração, a presença desses gases é comum em extrações de petróleo, já que o sulfeto de hidrogênio sobe para a atmosfera vindo diretamente das jazidas onde o óleo foi extraído, o dióxido de carbono é emitido pelas refinarias já que está presente nos reservatórios petrolíferos offshore, e o oxigênio apresenta uma alta eletronegatividade exercida sobre os metais que constituem a estrutura dos dutos de petróleo e gás. (AMARAL; FREITAS, 2011)

Na terceira pergunta foi questionado “Como é feita a prevenção de falhas por corrosão em dutos?”, a qual a resposta obtida foi: “Aplicação de Anticorrosivos, Seq. De H<sub>2</sub>S e Biocidas, principalmente.”; como dito por Oliveira, Farias e Cabral (2016) os ensaios de campo aplicados ajudam a selecionar o melhor material para sustentar o metal no meio exposto e estimar sua durabilidade, e a partir disto fazer a aplicação de anticorrosivos. Acrescentando de acordo com Pessoa e Queiroz (2015), os sequestradores de sulfeto de hidrogênio removem a substância para impedir que ela venha a causar corrosão, bem como a adição de biocidas no meio corrosivo para atuar como inibidor da corrosão no aço carbono causada por bactérias, dois biocidas comumente usados são: óleo de alho e glutaraldeído, que formam um biofilme na superfície metálica e impedem que as bactérias se alimentem da estrutura. (CABRAL; PESSOA; QUEIROZ, 2015)

Na quarta pergunta foi questionado “Como é feita a identificação da ameaça de risco? E quais as etapas de gerenciamento?”, a qual a resposta obtida foi: “O principal setor para melhor esclarecimento desta pergunta é o setor de integridade. Porém, pelo setor de Tratamentos Químico, podemos realizar análises físico-químicas e calcular tendências corrosivas através de software de simulações.”; de acordo com o engenheiro químico contribuinte da pesquisa, em relação aos tratamentos químicos as análises físico-químicas feitas com intuito de observar a tendência corrosiva por meio de simulações. De acordo com Araujo (2012) e Lima et al. (2012), análises com ensaios de

laboratório se mostram efetivas para observar o processo corrosivo de amostras metálicas de mesmo material das estruturas utilizadas em campo, para atender as especificações e fazer a melhor adequação para o meio. Comprovando o que foi dito por Cabral (2016), as análises físico-químicas analíticas qualitativas e quantitativas fazem estimativa da durabilidade do produto para os próximos meses, e auxilia em uma medida de alta eficácia para proteção anticorrosiva.

Na quinta pergunta foi questionado “Qual a diferença de dutos em regiões próximas a água, e em dutos subterrâneos?”, a qual a resposta obtida foi: “Principalmente, o material do qual é confeccionado. Para dutos próximos a água, geralmente utilizam materiais de fibras de vidro, materiais poliuretano, entre outros. A escolha do material é escolhida, geralmente, conforme tipo de fluido, pressão que irá suportar, temperatura, flexibilidade.”; de acordo com Amaral e Freitas (2011), o pH, a temperatura, flexibilidade – capacidade de contrair ou dilatar de acordo com a temperatura -, fluidez do produto a ser transportado, e a ação mecânica - pressão exercida – sob o metal devem ser levados em consideração na escolha do material mais adequado. Segundo Gentil (2011) a corrosividade da água do mar determinada pela quantidade de sais, gases dissolvidos, organismos vivos, e em decomposição presentes nela, juntamente com a variação de temperatura e exposição, a tornam um eletrólito forte capaz de corroer metais submersos nela, tais como os dutos transportadores de petróleo.

A submersão em água do mar colabora também para formar fouling's, que irão influenciar diretamente na taxa de corrosão, que deve ser combatido desde a escolha do material para que não seja facilmente afetado pelo acúmulo de matéria orgânica que pode ocasionar em danos materiais. Para evitar a decomposição causada por organismos vivos, uma excelente escolha são materiais como fibra de vidro, e plástico poliuretano que são tóxicos para os seres vivos que iriam se alimentar das estruturas, assim evitando a formação de fouling, trincas, e corrosão galvânica. (MARTINS; MOTA; GUERREIRO, 2013)

Na sexta pergunta foi questionado “Quais normas são seguidas para gerenciamento da integridade dos dutos?” não obteve resposta do engenheiro químico contribuinte da pesquisa, bem como a oitava “Em média, qual a vida útil de um duto e quais os principais cuidados que se deve ter com ele?”, a nona “Qual o material dos

duto utilizados na região, e quais os cuidados utilizados pela empresa para monitorá-los?”, e a décima “Quais os materiais dos revestimentos utilizados nos dutos imersos e submersos?”, também não obtiveram respostas por falta de conhecimento do funcionário que colaborou com a pesquisa.

Na sétima pergunta foi questionado “É feito um mapeamento de perdas de metais? Se sim, de que forma?”, a qual a resposta obtida foi: “Sim, perda de massa em cupons de corrosão. Análises de ferro na entrada e saída dos dutos. Ainda existem outros, mas o setor responsável é o de integridade.”; segundo Terzi e Mainier (2008) uma eficiente técnica de monitoramento de corrosão, é por meio dos cupons de perda de carga de massa, que medem a integridade do duto, determinando a taxa de corrosão pela perda dos cupons provedores da corrosão, para analisar a deterioração em dutos transportadores de petróleo, essa medida é feita introduzindo chapas em aço carbono nas estruturas.

Na oitava pergunta foi questionado “Quais normas são seguidas para gerenciamento da integridade dos dutos?” não obteve resposta do engenheiro químico contribuinte da pesquisa, bem como a nona pergunta “Em média, qual a vida útil de um duto e quais os principais cuidados que se deve ter com ele?”, a qual não obteve resposta.

Na nona pergunta foi questionado “Qual o material dos dutos utilizados na região, e quais os cuidados utilizados pela empresa para monitorá-los?”, e a décima “Quais os materiais dos revestimentos utilizados nos dutos imersos e submersos?”, também não obtiveram respostas por falta de conhecimento do funcionário que colaborou com a pesquisa.

O segundo funcionário, que se tratava de um coordenador de qualidade e inspetor de solda, que atuava diretamente em campo com dutos afetados por diferentes tipos de corrosão, analisava e providenciava as melhores medidas a serem tomadas, além de dar sugestões de monitoramento como chips detectores de vazamentos, aumento de volume de fluidos nas tubulações, aumento de temperatura, trincamento e quaisquer outros comportamentos atípicos nas operações. O segundo funcionário não apresentou disponibilidade para preencher o formulário online da pesquisa em questão, que posteriormente foi direcionada apenas para os resultados fornecidos pelo primeiro funcionário - engenheiro químico -.

## **6. CONCLUSÕES:**

De acordo com as respostas fornecidas pelo engenheiro químico contribuinte da pesquisa, conclui-se o êxito da revisão bibliográfica que previu o funcionamento de operações empresariais petroquímicas em regiões litorâneas, assim como na cidade de Macau, apresentando uma efetiva análise de estudo de caso, corroborando com as teorias apresentadas ao longo de todo o referencial teórico.

Concluindo assim, que as análises de laboratório contribuem para o funcionamento exemplar em campo e em exposição aos meios corrosivos, bem como as causas da corrosão, as técnicas de monitoramento, e as medidas de combate.

Esta revisão bibliográfica propôs métodos de prevenção, correção e retardamento de corrosão de acordo com fontes consultadas para construção da mesma, apresentando diferentes tipos de corrosão e suas causas, e focando nas que apresentaram maior recorrência na cidade de Macau, e como isso pode afetar a indústria petrolífera da região, e também a nível nacional.

Pode ser compreendido o processo de corrosão gradual nos dutos de petróleo e gás, e como as condições marítimas - tais como a maresia – influenciam diretamente, principalmente dado o contexto de uma cidade com temperatura elevada durante o dia e queda de temperatura durante a noite, comumente apontado em cidades litorâneas assim como Macau.

## 7. REFERÊNCIAS:

1. AMARAL, Renata Siqueira; FREITAS, Marcílio Sousa da Rocha. **Análise de Segurança de Dutos Com Defeitos de Corrosão**. 2011. 82 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas, Ouro Preto, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2729/1/DISSERTA%  
c3%87%  
c3%83O\\_An%  
c3%a1liseSeguran%  
c3%a7aDutos.PDF](https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2729/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_An%c3%a1liseSeguran%c3%a7aDutos.PDF). Acesso em: 19 ago. 2023.
2. AOKI, Idalina Vieira. **DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA PQI 3406 Corrosão e Seleção de Materiais: corrosão atmosférica**. São Paulo, 2021. 49 slides, color, 254x190. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5931885/mod\\_resource/content/1/PQI3406%  
20aula%  
208%  
20Corros%C3%A3o%  
20Atmosf%C3%A9rica.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5931885/mod_resource/content/1/PQI3406%20aula%208%20Corros%C3%A3o%20Atmosf%C3%A9rica.pdf). Acesso em: 23 out. 2023.
3. ARAUJO, Anne Aguiar de. **Gerenciamento de Falhas por Corrosão em Dutos**. 2012. 156 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia da Puc, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=20714@1>. Acesso em: 26 abr. 2012.
4. BARBOSA, Claudete Silva *et al.* Corrosão galvânica do par aço-carbono/aço inoxidável em ácido sulfúrico concentrado. In: INTERCORR 2016, 9., 2016, Búzios. [/intercorr.com.br/anais/2016/INTERCORR2016](http://intercorr.com.br/anais/2016/INTERCORR2016). São Paulo: Abraco, 2016. v. 308, p. 1-10. Disponível em: [https://intercorr.com.br/anais/2016/INTERCORR2016\\_308.pdf](https://intercorr.com.br/anais/2016/INTERCORR2016_308.pdf). Acesso em: 17 jun. 2023.
5. BRUNO PREIMA (Joinville). Enessul - Engenharia de Corrosão (ed.). **FORMAS DE CORROSÃO E MEIOS CORROSIVOS**. 2019. Publicado por Enessul - Engenharia de Corrosão. Disponível em: <https://www.enessul.com.br/2017/05/10/formas-de-corrosao-e-meios-corrosivos/>. Acesso em: 23 out. 2023.
6. CABRAL, Natalia Cristina Barros; PESSOA, Prof. Fernando Luiz Pellegrini; QUEIROZ, Prof. Eduardo Mach. **Simulação do Processo de Sequestro de H<sub>2</sub>S em Poço de Petróleo do Pré-sal**. 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Eq-Anp, M Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: [http://epqb.eq.ufrj.br/wp-content/uploads/2021/04/15\\_09.pdf](http://epqb.eq.ufrj.br/wp-content/uploads/2021/04/15_09.pdf). Acesso em: 17 out. 2023.

7. CAIRES, Maria Isabel. **Obtenção por sol-gel e caracterização de eletro catalisadores para aplicação em células a combustível com oxidação direta de metanol.** 2001. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Química da Universidade de São Carlos, São Paulo, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2001. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001227940>. Acesso em: 1 ago. 2023.
8. CAMPOS, João Paulo Marcolino Beda *et al.* **ANÁLISE DE SISTEMAS DE CORROSÃO EM DIFERENTES MEIOS.** 2016. 6 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Pesquisa e Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora Institutos Superiores de Ensino do Censa, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/20171077040004/Downloads/1031-Texto%20do%20artigo-3614-1-10-20160831.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2023.
9. CHIQUITO, Milriane Aires. **Comparação de desempenho de aços de baixa liga frente à corrosão atmosférica e corrosão eletroquímica.** 2013. 61 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.brhttps://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-A39QEZ/handle/1843/BUOS-A39QEZ>. Acesso em: 19 jun. 2023.
10. CORREIA, Otavio Carneiro. **A IMPORTÂNCIA DOS CUPONS DE CORROSÃO - 4 PONTOS DE ATENÇÃO.** 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/import%C3%A2ncia-dos-cupons-de-corros%C3%A3o-4-pontos-aten%C3%A7%C3%A3o-otavio>. Acesso em: 23 out. 2023.
11. **CORROSÃO DE FIXADORES METÁLICOS EMBUTIDOS EM MADEIRA TRATADA - UMA REVISÃO.** Fortaleza: Unieducar Inteligência Educacional Ltda, v. 1, n. 000119, 26 jan. 2018. Mensal. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/corrosao-de-fixadores-metalicos-embutidos-em-madeira-tratada-uma-revisao>. Acesso em: 29 set. 2023.
12. DIAS, Polyana Borges. **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARTICULADO PORCELANATO/EPÓXI PARA REVESTIMENTO ANTI-EROSIVO EM DUTOS.** 2007. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais, Centro de Engenharia da Uenf, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/POLYANA-BORGES-DIAS.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

13. FÁBIO, Merçon; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAIRIER, Fernando. Sistemas Experimentais para o Estudo da Corrosão em Metais. **Researchgate**, New York, v. 33, p. 1-4, 1 jan. 2011. Quadrimestral. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/50434440\\_Sistemas\\_Experimentais\\_para\\_o\\_Estudo\\_da\\_Corrosao\\_em\\_Metais?enrichId=rgreq-d44786f073c45acae88e4e75dc788243-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzUwNDM0NDQwO0FT0jQ0NzUwODY2NjE2MzIwNUAxNDgzNzA1Nzg4ODYx&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/50434440_Sistemas_Experimentais_para_o_Estudo_da_Corrosao_em_Metais?enrichId=rgreq-d44786f073c45acae88e4e75dc788243-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzUwNDM0NDQwO0FT0jQ0NzUwODY2NjE2MzIwNUAxNDgzNzA1Nzg4ODYx&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf). Acesso em: 14 jan. 2011.
14. FELIPE SALGADO (Rio de Janeiro). Petróleo Hoje - Editora Brasil Energia (ed.). **3R pretende iniciar perfuração no Polo Macau ainda no 1T23**. 2023. Editora Brasil Energia. Disponível em: <https://petroleohoje.editorabrasilenergia.com.br/3r-pretende-iniciar-perfuracao-no-polo-macau-ainda-no-1t23/>. Acesso em: 23 out. 2023.
15. FELIPE, Maria Beatriz M. C. *et al.* Aspectos Gerais Sobre Corrosão e Inibidores Vegetais. **Rv9 - Revista Virtual de Química**, Natal - Rn, v. 5, n. 4, p. 746-759, 27 jul. 2013. Mensal. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/401>. Acesso em: 31 ago. 2013.
16. FERNANDES, Jéssica Emanuela de Araújo; PEREIRA, Márcia Rodrigues. **Uso da palha de carnaúba em revestimento de dutos**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Físico-Química, Departamento de Química da Ufrn, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/17648>. Acesso em: 16 ago. 2023.
17. FERNANDES, M. **Proposta e Comparação de um Modelo Fenomenológico com Base em Alto Transporte de Massa e Supersaturação para Torre de Resfriamento de Água**. Dissertação [Mestrado em Engenharia Química] – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.
18. FOGAÇA, Jennifer (ed.). **Tipos de Corrosão**: existem três tipos de corrosão, a corrosão eletrolítica, a corrosão química e a corrosão eletroquímica.. Existem três tipos de corrosão, a corrosão eletrolítica, a corrosão química e a corrosão eletroquímica.. Brasil Escola - UOL. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>. Acesso em: 23 out. 2023.
19. FRAUCHES-SANTOS, Cristiane *et al.* A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. **Rv9 - Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 293-309, 20 dez. 2013. Mensal.

Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/490>. Acesso em: 1 set. 2023.

20. GENTIL, V.; **Corrosão**. 5 ed.- Rio de Janeiro, Guanabara dois, 2007

21. GENTIL, Vicente. **CORROSÃO**. 6. ed. Rio de Janeiro: Genio (Gen LTC) - Grupo Editora Nacional, 2011. 356 p. (225336). Professor Emérito e Professor Titular da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

22. GOMES, Duliane da Costa; SOUZA, Katuscia dos Santos de. Corrosion and significant learning of redox. **Researchgate**, Amazonas, v. 10, n. 13, p. 1-18, 3 out. 2021. Quadrimestral. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21020>. Acesso em: 16 ago. 2023.

23. HELENE, Paulo; RIBEIRO, Daniel. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: teoria, controle e métodos de análise. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, Campus, 2013. 272

HINCAPIE, Duberney; ALONSO-FALLEIROS, Neusa. TRINCAMENTO INDUZIDO POR HIDROGÊNIO EM AÇOS MICROLIGADOS: tecnol. metal. mater. mine. **Researchgate**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 82-93, jan. 2015. Quadrimestral. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275225696\\_TRINCAMENTO\\_INDUZIDO\\_POR\\_HIDROGENIO\\_EM\\_ACOS\\_MICROLIGADOS](https://www.researchgate.net/publication/275225696_TRINCAMENTO_INDUZIDO_POR_HIDROGENIO_EM_ACOS_MICROLIGADOS). Acesso em: 4 jul. 2023.

24. JAMBO, Hermano; FOFANO, Sócrates. **CORROSÃO**: fundamentos, monitoração e controle. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2008. 344 p. (8573936819). PETROBRAS.

LIMA, Gabriela V. *et al.* SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO DE UM LOOP PARA REALIZAR ENSAIOS DE CORROSÃO - EROSÃO. In: X CEEL - CONFERÊNCIAS DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 5., 2012, Uberlândia. **Artigoceel2012**. Uberlândia: Edufu, 2012. p. 1-6. Disponível em: [https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/doc/artigos/artigos2012/ceel2012\\_artigo098\\_r01.pdf](https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/doc/artigos/artigos2012/ceel2012_artigo098_r01.pdf). Acesso em: 23 jun. 2023.

25. LUIZ, Leonardo Augusto *et al.* AÇOS INOXIDÁVEIS APLICADOS NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA: ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**: TMM (ISSN online 2176 1523), Curitiba, v. 17, n. 1, p. 61-70, 1 mar. 2020. Anual. Disponível em: <http://www.tmm.periodikos.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.20201960>. Acesso em: 8 jul. 2023.

26. MATOS, Flávio Amaury de Freitas. **Influência da temperatura de solubilização e do tempo de envelhecimento no comportamento a corrosão do aço superduplex UNS S32520.** 2015. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/341>. Acesso em: 3 ago. 2023.
27. MELISSA FRYER (Springfield). Csi - Central States Industrial (ed.). **FOULING IN HEAT EXCHANGERS: heat exchanger, preventative maintenance. HEAT EXCHANGER, PREVENTATIVE MAINTENANCE.** 2021. Disponível em: <https://www.csidesigns.com/blog/articles/fouling-in-heat-exchangers>. Acesso em: 23 out. 2023.
28. NORMA PETROBRAS 2785 - **Monitoração, Interpretação e Controle da Corrosão Interna em Dutos.** 2010.
29. OLIVEIRA, Laíse Ramonny Nunes de; FARIAS, Larissa Freitas; CABRAL, Endyara de Moraes. PRINCIPAIS TÉCNICAS DE MONITORAMENTO DE VAZAMENTOS CAUSADOS POR CORROSÃO EM DUTOS DE PETRÓLEO- REVISÃO. In: II CONEPETRO - II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2., 2016, Natal - Rn. **TRABALHOEV052MD4SA5ID34106072016191148pdf.** Natal - Rn: Realizeeventos Científicas & Editora, 2016. v. 2, p. 1-8. Disponível em: [https://editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2016/TRABALHO\\_EV052\\_MD4\\_SA5\\_ID341\\_06072016191148.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2016/TRABALHO_EV052_MD4_SA5_ID341_06072016191148.pdf). Acesso em: 15 jun. 2023.
30. PINA, J. P.; BARBOSA, K. F.; ALMEIDA, L. R.; COSTA, R. S.; CARDOSO, T. P.; SILVA, V. C. Análise do Desempenho de Inibidores de Corrosão à Base de Misturas de Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> .2H<sub>2</sub> O, ZnSO<sub>4</sub> e Uréia na Proteção do Aço-Carbono. **Revista Processos Químicos**, v. 5, n. 10, p. 75-80, 1 jul. 2011.
31. **R9 REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA.** Niterói: Publisbq, v. 6, n. 2, 21 nov. 2013. Trimestral. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/490>. Acesso em: 11 ago. 2023.
32. **REVISTA CIENTÍFICA SEMANA ACADÊMICA.** Fortaleza: Unieducar Inteligência Educacional Ltda, v. 1, 26 jan. 2018. Mensal. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/corrosao-de-fixadores-metalicos-embutidos-em-madeira-tratada-uma-revisao>. Acesso em: 09 set. 2023.

33. **REVISTA CORTE E CONFORMAÇÃO DE METAIS**. Gravataí: Aranda Editora Técnica e Cultural, v. 86, jan. 2013. Mensal. Disponível em: [https://www.arandanet.com.br/revista/ccm/artigo\\_tecnico/221-Estudo-analisa-o-uso-de-acos-estruturais-resistentes-a-corrosao-atmosferica.html%7D%7D](https://www.arandanet.com.br/revista/ccm/artigo_tecnico/221-Estudo-analisa-o-uso-de-acos-estruturais-resistentes-a-corrosao-atmosferica.html%7D%7D). Acesso em: 04 ago. 2023.
34. **REVISTA SOLDAGEM E INSPEÇÃO**. São Paulo: Cubo, v. 4, 8 nov. 2012. Trimestral. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/Yf6XpG4nJnqFTPyMGsHDDKP/#>. Acesso em: 11 jul. 2023.
35. RIO DE JANEIRO. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (org.). **Cidades e Estados**. 2020. Elaborado por gov.br. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/macau.html>. Acesso em: 13 nov. 2023.
36. SANTOS, Ângelo Oliveira dos. **Solução de instrumentação para detecção da qualidade do revestimento de dutos, com traçabilidade ótica em rede de sensores sem fio baseada no XBee**. 2016. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Mecatrônica, Escola Politécnica e Instituto de Matemática, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/18607>. Acesso em: 25 ago. 2023.
37. SOUZA, Erivaldo Dias de. **Análise de corrosão por meio de perda de massa e espessura em aços pela ação da água produzida de poços petrolíferos**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/123456789/3504>. Acesso em: 04 out. 2012.
38. SULCROMO (Caxias do Sul). Sulcromo Revestimentos Industriais Ltda - Cromo Duro e Metalização. **8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como revertê-las**. 2020. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/noticias-industria/8-tipos-de-corrosao-mais-comuns-na-industria-e-como-reverte-las/>. Acesso em: 23 out. 2023.
39. TERZI, Rafael; MAINIER, Fernando B.. MONITORAMENTO DA CORROSÃO INTERNA EM PLATAFORMAS OFFSHORE. **Tecno-Lógica**: Revista do Departamento de Química e Física do Departamento de Engenharia Arquitetura e Ciências Agrárias e do Mestrado em Tecnologia Ambiental, Santa Cruz do Sul, v. 12, n. 1, p. 14-21, 2008. Semestral. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/355>. Acesso em: 4 out. 2023.

40. VERDE, Redação Pensamento. **Impactos ambientais dos vazamentos de petróleo**. 2013. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/impactos-ambientais-vazamentos-petroleo/>. Acesso em: 23 out. 2023.