

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA
EDERSON GEAN DA LUZ

**MONITORAMENTO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO SAE 1020, AÇO
GALVANIZADO, ALUMÍNIO E COBRE, CONSIDERANDO AS CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS SERRANAS E LITORÂNEAS DE SANTA CATARINA**

LAGES - SC

2018

EDERSON GEAN DA LUZ

**MONITORAMENTO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO SAE 1020, AÇO
GALVANIZADO, ALUMÍNIO E COBRE, CONSIDERANDO AS CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS SERRANAS E LITORÂNEAS DE SANTA CATARINA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro
Universitário Unifacvest, como parte das exigências para
a obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador(a): Prof. Aline Vieira de Souza

LAGES - SC

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

EDERSON GEAN DA LUZ

MONITORAMENTO DA CORROSÃO NO AÇO CARBONO SAE 1020, AÇO GALVANIZADO, ALUMÍNIO E COBRE, CONSIDERANDO AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS SERRANAS E LITORÂNEAS DE SANTA CATARINA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador(a): Prof. Aline Vieira de Souza

Membro:

Membro:

Conceito: _____

Data: __/__/__

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir estudar durante estes cinco anos e realizar esse sonho, a minha Família principalmente aos meus Pais, por sempre estarem comigo me apoiando e incentivando a alcançar todos os meus objetivos.

Aos Mestres que fizeram parte do curso e em especial a minha orientadora, por enriquecerem minha jornada com seus conhecimentos e experiências.

Aos meus amigos que estiveram sempre ao meu lado.

A confiança e o incentivo de todos vocês foram muito importantes para o meu desenvolvimento e com certeza contribuíram em minha caminhada até aqui, obrigado a todos.

Ederson Gean da Luz ¹

Aline Vieira de Souza ²

RESUMO

O presente trabalho tem o intuito de compreender o processo de corrosão dos materiais metálicos e apresentar um estudo sobre a importância do monitoramento da corrosão, sabendo classificar os seus tipos, os problemas, as formas de proteção, meios corrosivos, efeitos do meio ambiente além de relacionar este fenômeno com uma pesquisa comparativa sobre a corrosão em diferentes materiais, onde os mesmos foram analisados e monitorados através de ensaios de intemperismo onde ficaram expostos a condições naturais na serra e no litoral de Santa Catarina. A pesquisa foi aplicada nos metais comumente mais produzidos e utilizados pela engenharia, aço galvanizado, aço carbono, alumínio e cobre. Para tanto foi analisado através de corpos de prova a agressividade da corrosão atmosférica nos determinados materiais levando em conta as diferentes condições climáticas de cada região.

Palavras Chave: Corrosão atmosférica – agressividade – materiais metálicos

¹ Acadêmico da 10ª Fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Professora orientadora do Centro Universitário UNIFACVEST.

Ederson Gean da Luz ¹
Aline Vieira de Souza ²

ABSTRACT

The present work aims to present a study on the importance of corrosion monitoring, knowing how to classify their types, problems, such as corrosion protection, corrosive media, environmental effects, as well as comparative research on the corrosion in different metallic materials, the rocky were through the trials of intemperism and been exposed to natural ses serra and in the littoral of Santa Catarina. Electroplating was applied in the highest metallurgies and used by engineering, galvanized steel, carbon steel, aluminum and copper. For the evidence of analyzed through body of the aggressiveness of the corrosion of the project materials taking in container the differentities climate of each region.

Keywords: Atmospheric corrosion - aggressiveness - metallic materials

¹ Acadêmico da 10ª Fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Professora orientadora do Centro Universitário UNIFACVEST.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de degradação dos metais, denominado “Ciclo dos Metais”).....	15
Figura 2 – Corrosão uniforme em chapa de aço carbono.....	16
Figura 3 – Corrosão por placas em chapa de aço carbono.....	16
Figura 4 – Corrosão Alveolar.....	17
Figura 5 – Corrosão Galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estágio simples	18
Figura 6 – Corrosão por pites em tubo de aço inoxidável AISI 304	18
Figura 7 – Corrosão intergranular da solda em um aço inoxidável.....	19
Figura 8 – Corrosão intragranular em aço inoxidável.....	20
Figura 9 – Falha por erosão-corrosão de uma conexão que fazia parte de uma linha de vapor condensado.....	21
Figura 10 – Corrosão por esfoliação em tubo de aço carbono.....	21
Figura 11 – Corrosão no bocal de visita de um tanque, área fabril Klabin S/A unidade de Correia Pinto – SC.....	23
Figura 12 – Corrosão em tubulações de área fabril.....	23
Figura 13 – Corrosão em duto utilizado para transporte de petróleo.....	25
Figura 14 – Ilustração da proteção contra a corrosão por efeito barreira.....	26
Figura 15 – Ilustração de um processo de soldagem.....	30
Figura 16 – Ação Corrosiva da água do mar em boia marítima.....	37
Figura 17 – Reação geral da corrosão de materiais metálicos.....	39
Figura 18 – Corrosão vermelha no aço galvanizado.....	44
Figura 19 – Corrosão atmosférica no aço carbono.....	44
Figura 20 – Corrosão atmosférica no alumínio.....	45
Figura 21 – Corrosão em tubulação de cobre.....	46
Figura 22 – Chapa de aço carbono utilizado como corpo de prova.....	47
Figura 23 – Chapa de aço galvanizado utilizado como corpo de prova.....	48
Figura 24 – Chapa de alumínio utilizado como corpo de prova.....	48
Figura 25 – Chapa de alumínio utilizado como corpo de prova.....	49
Figura 26 – Corrosão no aço carbono SAE 1020 - Material exposto em Lages SC.....	54
Figura 27 – Corrosão no aço carbono SAE 1020 - Material exposto em Içara – SC.....	56
Figura 28 – Monitoramento do material exposto em Lages – SC.....	56
Figura 29 – Monitoramento do material exposto em Içara – SC.....	56

Figura 30 – Corrosão por pites em chapa de alumínio material exposto em Içara – SC.....	57
Figura 31 – Monitoramento da chapa de alumínio exposta em Lages – SC.....	58
Figura 32 – Bico de cobre para tocha mig/mag exposto em Lages SC.....	59
Figura 33 – Bico de cobre para tocha mig/mag exposto em Içara SC.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Corrosão do ferro em função da umidade relativa da atmosfera.....	36
Gráfico 2 – Curvas Relacionando a umidade relativa e cloreto de sódio.....	37
Gráfico 3 – Média mensal de temperatura, Lages-SC.....	50
Gráfico 4 – Média mensal de temperatura, Içara-SC.....	50
Gráfico 5 – Média mensal de volume de chuva, Lages-SC.....	51
Gráfico 6 – Média mensal de volume de chuva, Içara-SC.....	51
Gráfico 7 – Média mensal de umidade relativa, Lages-SC.....	52
Gráfico 8 – Média mensal de umidade relativa, Içara-SC.....	52
Gráfico 9 – Média mensal de radiação, Lages-SC.....	53
Gráfico 10 – Média mensal de radiação, Içara-SC.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxas de corrosão do ferro e de algumas ligas.....	29
Tabela 2 – Categorias de corrosividade atmosférica.....	42
Tabela 3 – Índices de deterioração de Brooks.....	43
Tabela 4 – Índices de deterioração dos corpos de prova	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 CORROSÃO	14
2.2 TIPOS DE CORROSÃO	15
2.2.1 Corrosão uniforme.....	16
2.2.2 Corrosão por placas	16
2.2.3 Corrosão Alveolar	17
2.2.4 Corrosão Galvânica.....	17
2.2.5 Corrosão Puntiforme ou po Pites.....	18
2.2.6 Corrosão Intergranular.....	19
2.2.7 Corrosão Intragranular.....	19
2.2.8 Erosão-Corrosão.....	20
2.2.9 Corrosão por esfoliação.....	21
2.3 CORROSÃO NA INDÚSTRIA.....	22
2.4 PROBLEMAS DA CORROSÃO.....	24
2.4.1 Manutenção	24
2.4.2 Interrupção do processo.....	24
2.4.3 Contaminação do produto.....	24
2.4.4 Perda de material	25
2.4.5 Saúde e Segurança	25
2.4.6 Aparência	25
2.5 FORMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO.....	26
2.5.1 Proteção catódica.....	26
2.5.2 Proteção anódica.....	27
2.5.3 Inibidores para proteção temporária	27
2.5.4 Modificações de propriedades de metais e de projetos.....	29
2.5.4.1 Modificações de propriedades de metais.....	29
2.5.4.2 Modificações de projetos	30
2.5.5 Revestimentos metálicos	32
2.5.6 Revestimentos não-metálicos inorgânicos.....	33
2.5.7 Revestimentos não-metálicos orgânicos.....	34

2.6 EFEITOS DO MEIO AMBIENTE.....	34
2.7 MEIOS CORROSIVOS	35
2.7.1 Atmosfera	35
2.7.1.1 Umidade Relativa	36
2.7.1.2 Gases poluentes	37
2.7.2 Águas naturais	37
2.7.3 Solo	38
2.7.4 Produtos Químicos	38
2.7.5 Alimentos	39
2.7.6 Substâncias Fundidas	39
2.8 CORROSÃO DE MATERIAIS METÁLICOS.....	39
2.9 CORROSÃO ATMOSFÉRICA.....	40
2.9.1 O ar atmosférico e sua influência sobre os materiais.....	40
2.9.2 Classificação de corrosividade atmosférica.....	41
2.9.3 Mecanismo do processo de corrosão atmosférica.....	43
2.9.4 Corrosão atmosférica do aço galvanizado.....	43
2.9.5 Corrosão atmosférica do aço carbono.....	44
2.9.6 Corrosão atmosférica do alumínio.....	45
2.9.7 Corrosão atmosférica do cobre.....	46
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1 ENSAIO DE INTEMPERISMO NATURAL.....	49
3.1.1 Média mensal da temperatura.....	49
3.1.2 Média mensal do volume de chuva.....	51
3.1.3 Média mensal da umidade relativa.....	52
3.1.4 Média mensal da radiação.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1 MONITORAMENTO DO AÇO CARBONO.....	55
4.2 MONITORAMENTO DO AÇO GALVANIZADO.....	56
4.3 MONITORAMENTO DO ALUMÍNIO.....	58
4.4 MONITORAMENTO DO COBRE.....	59
CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Nos materiais metálicos é muito comum nos depararmos com a corrosão, principalmente quando estes estão expostos aos meios corrosivos sem qualquer tipo de revestimento que visem prevenir ou reduzir este fenômeno. Este fenômeno é um processo natural e consiste na destruição de um material, através de reações químicas com o ambiente onde ele está inserido e é importante lembrar que a corrosão é uma das principais causas das falhas de equipamentos. Apesar de existirem alguns casos distintos do fenômeno, a corrosão é um problema muito presente no cotidiano em geral, uma vez que atinge praticamente todos os metais, alterando indesejavelmente as características do material, o que torna seu uso mais difícil ou inadequado afetando diretamente a durabilidade e o desempenho esperado neles.

O conhecimento e a análise do histórico de corrosão em diferentes materiais permitem classificar o seu tipo, definir e priorizar as ações preventivas, preditivas e corretivas. A análise estatística deste histórico possibilita definir o tempo de vida útil dos equipamentos e materiais metálicos.

Os problemas de destruição de materiais metálicos são frequentes e de certa relevância nas mais variadas atividades, a corrosão trata-se de um fenômeno de enorme proporção, além dos altos custos gerados pela manutenção e substituição de materiais, gera também riscos potenciais à segurança das pessoas, portanto são necessários constantes estudos para aperfeiçoar e reduzir os custos das técnicas de controle da corrosão. Estudos globais têm mostrado que o total de gastos com problemas relacionados à degradação de materiais chega a 5% do Produto Nacional Bruto, e que destes, cerca de 20 a 25% dos custos poderiam ser evitados se fossem usadas as tecnologias de controle apropriadas (YUANTAI, 2010). No Brasil, estima-se que sejam da ordem de US\$ 15 bilhões ao ano os gastos relativos aos processos corrosivos, sendo que cerca de US\$ 5 bilhões poderiam ser economizados mediante o uso de métodos de prevenção e controle (BRAMBILLA, 2011).

Portanto uma pesquisa das variáveis que influenciam na degradação dos materiais é relevante, pois estão presentes em nosso cotidiano, estando susceptíveis ao processo de corrosão. A realização do monitoramento dos processos corrosivos irá auxiliar no estudo dos materiais metálicos utilizados pela engenharia em diversas aplicações. A corrosividade através das condições climáticas em uma determinada localidade é um fator importante para usos gerais

na engenharia, auxiliando na escolha dos materiais mais indicados, duráveis e as proteções mais adequadas.

A degradação de materiais metálicos causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso. Como a corrosão geralmente é um processo espontâneo ela transforma constantemente os materiais metálicos, afetando diretamente a durabilidade e o seu desempenho, deixando de satisfazer os fins que se esperam destes materiais.

O presente trabalho teve como objetivo monitorar o processo da corrosão no aço carbono, aço galvanizado, alumínio e cobre, levando em conta as condições climáticas da serra e do litoral catarinense, identificando os principais parâmetros que podem afetar a degradação dos materiais.

Sabendo disso ocorreu o desejo e interesse em criar este projeto que procura esclarecer as variáveis que aceleram o processo de deterioração de um material, o estudo do monitoramento da corrosão é muito importante, pois além da degradação de materiais gerar altos custos de manutenção, perda de produção e desgastes, afeta também a segurança das pessoas, e prejudica o meio ambiente como em casos de vazamento de petróleo causados pela corrosão, portanto a pesquisa irá auxiliar no acompanhamento dos processos corrosivos dos materiais metálicos que são utilizados em diversas áreas pela engenharia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo, estão sendo considerados artigos, teses, normas, livros e assuntos pertinentes ao processo de corrosão, no decorrer deste projeto será estudado: o conceito, classificação, ambientes que favorecem o processo da corrosão, meios de prevenção, seleção de um material que seja relativamente não reativo e proteção do material contra uma deterioração apreciável.

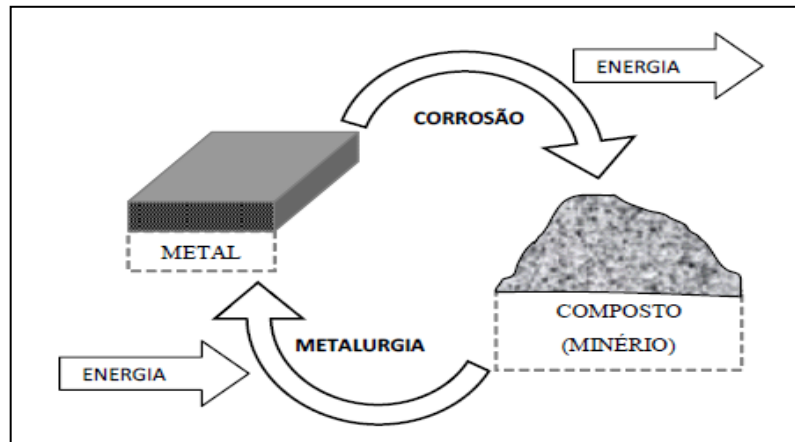
2.1 CORROSÃO

A corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 2007). Como a corrosão geralmente é um processo espontâneo ela transforma constantemente os materiais metálicos, afetando diretamente a durabilidade e o seu desempenho deixando de satisfazer os fins que se esperavam destes materiais.

Com exceção de alguns metais nobres, como o ouro, que podem ser encontrados no estado elementar, os metais são geralmente encontrados na natureza sob a forma de compostos, se tornando comuns as ocorrências de óxidos e sulfetos metálicos. Os compostos que possuem conteúdo energético inferior ao dos metais são relativamente estáveis. Desse modo, os metais tendem a reagir espontaneamente com os líquidos ou gases do meio ambiente em que são postos.

Admite-se a corrosão como o inverso do processo siderúrgico, cujo o objetivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal. Assim, por vezes, o produto da corrosão do metal é muito semelhante ao minério do qual é originalmente extraído obedecendo ao ciclo dos metais (GENTIL, 2007), ou seja, basicamente um material metálico quando exposto a condições que favorecem a corrosão sempre tendem a voltar a sua forma original conforme ilustrado na figura 1 abaixo.

Figura 1 – Processo de degradação dos metais, denominado “Ciclo dos Metais”)



Fonte: Ciência dos Materiais – Callister 8ª Ed. (2010).

Os processos de corrosão dos materiais metálicos são representados por reação de oxidação e redução, sendo que o mesmo atua como agente redutor cedendo elétrons que são recebidos pelo agente oxidante, que é uma substância existente no eletrólito ou ambiente propício para a corrosão. Segundo GENTIL(2007), quanto menor for a condutividade do eletrólito mais alta será a resistência à corrosão. Este fenômeno natural comum a todas as estruturas metálicas é o resultado de reações químicas ou eletroquímicas entre metais ou ligas metálicas no ambiente em que estão expostos estes materiais, e o combate contra este fenômeno de degradação é extremamente importante pois além dos altos custos econômicos envolvidos, são seguidamente responsáveis por graves acidentes nas mais diversas áreas como, aviação, veicular, industrial, civil, marinha, e colocando diretamente em risco vidas humanas além de prejudicar o meio ambiente em casos como vazamento de petróleo devido a tubulações afetadas pela corrosão.

2.2 TIPOS DE CORROSÃO

Na sequência, estão apresentados os principais tipos de corrosão, podendo identificá-los visualmente, na maior parte das vezes, suas formas, causas e mecanismos, é conveniente classificar a corrosão de acordo com a maneira pela qual ela se manifesta. A classificação do processo de corrosão é feita de diferentes maneiras devido a diferença de materiais, ligas e meios onde ela possa ocorrer, além da diversidade das condições de temperatura e concentração de agentes corrosivos.

2.2.1 Corrosão Uniforme

Segundo CALLISTER(2010), é uma forma de corrosão eletroquímica que ocorre com intensidade equivalente ao longo de toda a superfície de um material exposta ao meio corrosivo e gera uma incrustação ou um depósito, causando perda uniforme de espessura. A corrosão uniforme é uma das mais fáceis de controlar, de ver, de proteger, alguns exemplos incluem a corrosão generalizada no aço e no ferro e o escurecimento em pratarias. Essa é provavelmente a forma mais comum de corrosão.

Figura 2 – Corrosão uniforme em chapa de aço carbono

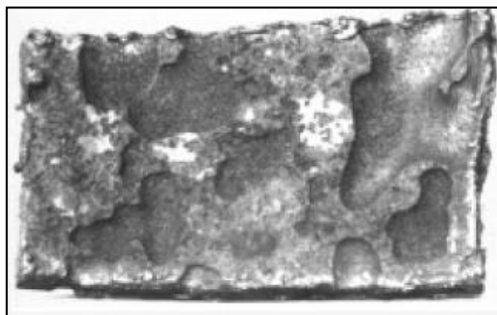


Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.2.2 Corrosão por placas

Esse tipo de corrosão é localizado, com formação de placas com escavações, devido aos descolamentos das mesmas, que se desprendem progressivamente. Geralmente em metais passivados, onde a película protetora, formada inicialmente, se desprende por já estar muito espessa pela ação da gravidade.(GENTIL 2007).

Figura 3 – Corrosão por placas em chapa de aço carbono



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.2.3 Corrosão Alveolar

A corrosão alveolar é uma forma de corrosão localizada e ocorre em superfícies metálicas, produzindo sulcos ou escavações, que são semelhantes a alvéolos, apresentando como característica um fundo arredondado e uma profundidade geralmente menor que o seu diâmetro.(GENTIL 2007).

Figura 4 – Corrosão Alveolar

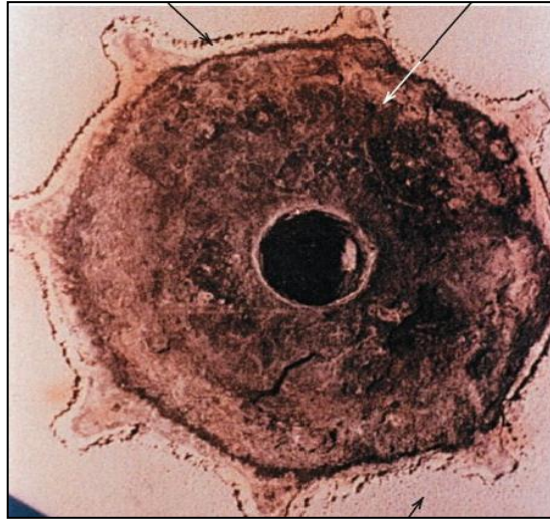


Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.2.4 Corrosão Galvânica

“A corrosão galvânica ocorre quando dois metais com composições diferentes são acoplados eletricamente enquanto são expostos a um eletrólito, com isso o metal menos nobre , ou mais reativo em um determinado ambiente sofrerá corrosão, o material mais inerte , o catodo será protegido contra a corrosão”.(CALLISTER, 2010, p. 590). Quanto maior a diferença de potencial, maior a probabilidade de corrosão galvânica. As áreas relativas dos dois metais são também importantes. Se a área do metal anódico é bem menor, comparada com a do metal catódico, a corrosão do metal anódico será bastante acelerada. Por exemplo, uma tubulação de cobre e aço são unidas em um aquecedor de água, com isso o aço sofrerá uma corrosão paralelamente a junção dos dois materiais.

Figura 5 – Corrosão Galvânica ao redor da entrada de uma bomba de drenagem de estágio simples

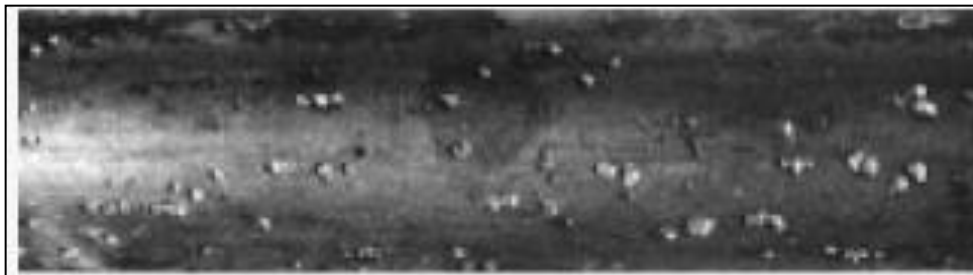


Fonte: Ciência dos Materiais – Callister 8ª Ed. (2010).

2.2.5 Corrosão Puntiforme ou por pites

“A corrosão puntiforme ou por pites é uma forma localizada de ataque corrosivo, na qual pequenos pites se formam. Ordinariamente, eles penetram a partir do topo de uma superfície horizontal para o interior do material em uma direção praticamente vertical.” (CALLISTER, 2010, p. 592). Essa, portanto, é a forma mais destrutiva de corrosão, pois é muito difícil de ser identificada, geralmente se forma embaixo da corrosão generalizada e também a perda percentual de peso da estrutura é muito pequena. Essa forma se diferencia da alveolar, porque diferente dos alvéolos, a profundidade da corrosão é maior do que o diâmetro da cratera formada.

Figura 6 – Corrosão por pites em tubo de aço inoxidável AISI 304

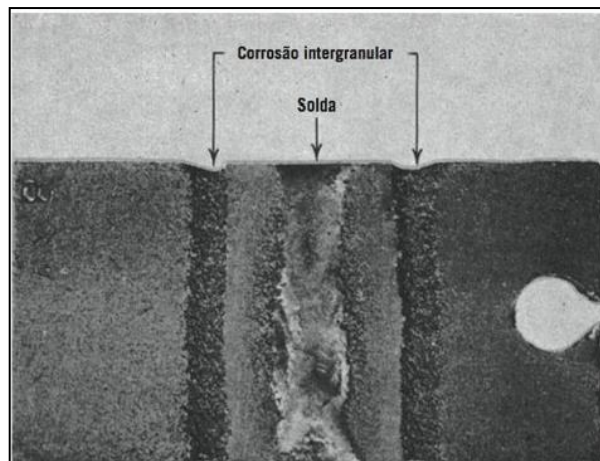


Fonte: <https://www.engquimicasantosp.com.br> (2017).

2.2.6 Corrosão Intergranular

Segundo CALLISTER (2010), a corrosão intergranular ocorre geralmente ao longo dos contornos de grãos para algumas ligas e em ambientes específicos. O resultado final desse processo é uma amostra macroscópica que se desintegra ao longo da superfície, na qual em condições normais são ligeiramente mais reativos do que o interior do material. Contudo, em certas condições, os contornos de grão se tornam muito reativos, ocorrendo à corrosão entre os grãos da rede cristalina do material metálico. Esse tipo de corrosão pode ser provocado por impurezas nos contornos de grão, e quando se aumenta ou diminui a concentração destes elementos na região dos contornos de grão, o metal perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando ocorre algum esforço mecânico.

Figura 7 – Corrosão intergranular da solda em um aço inoxidável

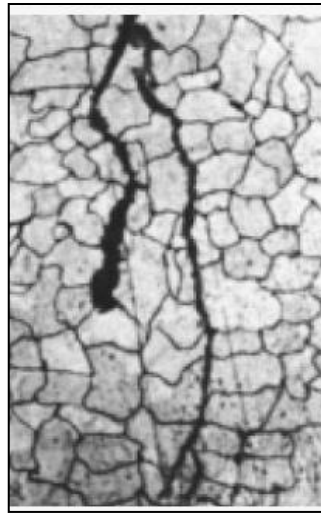


Fonte: Ciência dos Materiais – Callister 8ª Ed (2010).

2.2.7 Corrosão Intragranular

Este tipo de corrosão se processa no interior dos grãos cristalinos de um material metálico o qual, pela perda de suas propriedades mecânicas, assim como no caso da corrosão intergranular, poderá sofrer uma fratura à menor sollicitação mecânica com efeitos muito mais significantes comparando com a corrosão intergranular. (GENTIL 2007).

Figura 8 – Corrosão intragranular em aço inoxidável



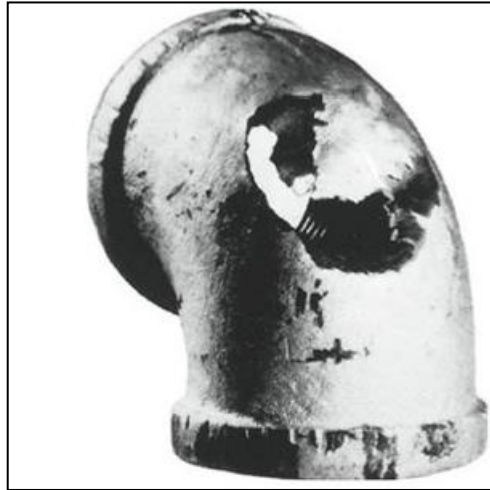
Fonte: Ciência dos Materiais – Callister 8ª Ed (2010).

2.2.8 Erosão – Corrosão

A erosão corrosão surge da ação combinada de um ataque químico e da abrasão ou desgaste mecânico causado pelo movimento de um fluido. (CALLISTER, 2010). Todas as ligas metálicas, em maior ou menor grau, são suscetíveis à erosão, ela é especialmente prejudicial para as ligas que são passivadas pela formação de um filme superficial protetor, a ação abrasiva pode erodir esse filme, deixando exposta uma superfície danificada do metal. Se o revestimento não for capaz de se refazer de maneira rápida e contínua para recompor a barreira protetora, a corrosão poderá ser severa. Os metais relativamente dúcteis, tais como cobre, chumbo, também são sensíveis a essa forma de ataque. Geralmente, esse tipo de ataque pode ser identificado pela presença de ranhuras e ondulações superficiais, com contornos característicos do escoamento de um fluido.

A natureza do fluido influencia diretamente sobre o comportamento da corrosão. O aumento da velocidade do fluido geralmente aumenta a taxa de corrosão. Além disso, uma solução é mais erosiva quando estão presentes bolhas e partículas sólidas em suspensão. Esse tipo de corrosão é encontrado frequentemente em tubulações principalmente em curvas e cotovelos, ocasionado mudanças bruscas no diâmetro da tubulação.

Figura 9 – Falha por erosão-corrosão de uma conexão que fazia parte de uma linha de vapor condensado.



Fonte: Ciência dos Materiais – Callister 8ª Ed (2010).

2.2.9 Corrosão por esfoliação

A corrosão por esfoliação é um tipo de corrosão que se segundo GENTIL (2007) se processa de forma paralela a superfície metálica. Esse tipo de corrosão pode ocorrer em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, criando condições para que inclusões ou segregações, presentes no material sejam transformadas, devido ao trabalho mecânico, em plaquetas alongadas. Quando é iniciado o processo corrosivo na superfície de ligas de alumínio, com essas características, o ataque pode atingir as inclusões ou segregações alongadas e a corrosão ocorrerá através de planos paralelos à superfície metálica e, mais frequentemente, em frestas.

Figura 10 – Corrosão por esfoliação em tubo de aço carbono



Fonte: <https://www.engquimicasantosp.com.br> (2015).

O produto de corrosão é volumoso, e ocasiona a separação das camadas contidas entre as regiões que sofrem a ação corrosiva e, como consequência, ocorre a desintegração do material em forma de placas paralelas à superfície.

2.3 CORROSÃO NA INDÚSTRIA

A manutenção preventiva da indústria nacional movimentava anualmente o equivalente a 3,5% do PIB, sendo rotineiramente colocada de forma recorrente na ordem do dia das indústrias mais vulneráveis às ações corrosivas. (LIBOS, 2010, p.1). A manutenção anticorrosiva está presente no elenco dos itens da prancheta de controle dos ativos em praticamente todos os segmentos da indústria, e isso naturalmente requer atenção pois qualquer planta industrial sofre a ameaça da corrosão do patrimônio metálico, como por exemplo as estruturas, plataformas de acesso, tubulações e todos os demais equipamentos. Quando não sofrem uma deterioração corrosiva dos próprios componentes, esses equipamentos podem estar expostos à ação ambiental de vetores de corrosão eletroquímica.

Além disso, o desempenho e durabilidade do material metálico diminui quando ele é corroído, causando perdas econômicas diretas como custos de substituição, manutenção e proteção de peças. Perdas econômicas indiretas também podem ocorrer devido à corrosão, como a contaminação de produtos e a paralisação dos equipamentos. Outro fator importante está relacionado às questões de segurança, pois os materiais que sofrem corrosão estão suscetíveis a fraturas repentinas, colocando em risco a segurança dos envolvidos em sua operação. Assim, podemos ver a importância do controle e monitoramento da corrosão em equipamentos.

Atualmente existem várias maneiras de combater a corrosão. Algumas delas são: a escolha de materiais mais resistentes, como algumas ligas metálicas e o aço inoxidável; o revestimento de superfícies metálicas com tintas e esmaltes (que funcionam como uma barreira entre o metal e o ambiente); a limpeza e polimento frequente e com produtos adequados; a galvanização; ou até mesmo a mudança do ambiente onde os equipamentos estavam localizados para ambientes menos agressivos. Segundo EJEC Engenharia (2014) a melhor maneira de evitar a corrosão exige um estudo aprofundado para determinar seu tipo e principalmente suas causas, podendo assim escolher dentre essas soluções a que efetivamente acabará com o problema.

A seguir segue algumas fotos que exibem o processo da corrosão em ambientes industriais.

Figura 11 – Corrosão no bocal de visita de um tanque, área fabril Klabin S/A unidade de Correia Pinto - SC



Fonte: Autor (2018).

Figura 12 – Corrosão em tubulações de área fabril



Fonte: <https://www.ncheurope.com> (2017).

2.4 PROBLEMAS DA CORROSÃO

Segundo PANOSSIAN (1993), a corrosão pode ter consequências diretas e indiretas, sendo algumas delas de natureza econômicas, como substituição de equipamento corroído, paralisação de equipamentos por falhas, emprego de manutenção preventiva, contaminação como acontece em dutos de transporte de petróleo , perda de produtos , perda de eficiência como ocorre por exemplo em caldeiras, trocadores de calor ou bombas e superdimensionamento de projetos. Alguns dos problemas associados à corrosão estão listados a seguir.

2.4.1 Manutenção

“A manutenção de uma planta industrial pode ter seu custo sensivelmente reduzido pela utilização de materiais resistentes à corrosão. Neste caso é necessário um estudo de custo benefício pois muitas vezes se torna economicamente mais viável a utilização de materiais resistentes à corrosão, mesmo que mais caros, que se ter que fazer uma manutenção periódica de pintura, por exemplo.” (ARAÚJO, 2003, p. 5).

2.4.2 Interrupção do processo

“Frequentemente uma linha de produção ou parte de um processo para devido a falhas inesperadas provocadas por corrosão.” (ARAÚJO, 2003, p. 5).

2.4.3 Contaminação do produto

“A contaminação do produto ocasionado por resíduos da corrosão de parte da planta de produção gera queda no preço final do produto sendo que em alguns casos, devido a um efeito catalítico do produto de corrosão, ocorre a decomposição do produto, causando perda total.” (ARAÚJO, 2003, p. 5).

Figura 13 – Corrosão em duto utilizado para transporte de petróleo



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.4.4 Perda de material

Segundo ARAÚJO (2003), a perda de material, causada por corrosão, ocorre principalmente por vazamentos nos dutos e tanques.

2.4.5 Saúde e Segurança

“Quando a corrosão causa vazamento de materiais tóxicos, inflamáveis ou radioativos tem-se, conseqüentemente, problemas ambientais, de segurança e de saúde.” (ARAÚJO, 2003, p. 6).

2.4.6 Aparência

“A aparência de um material pode ser importante de forma que a corrosão do mesmo se torna indesejável. Dependendo da aplicação do material pode-se, a partir de uma análise de custo-benefício, se eleger um material resistente à corrosão ou uma forma de proteção que pode ser um revestimento polimérico, cerâmico ou metálico ou ainda através de processos de proteção anódica ou catódica.” (ARAÚJO, 2003, p. 4).

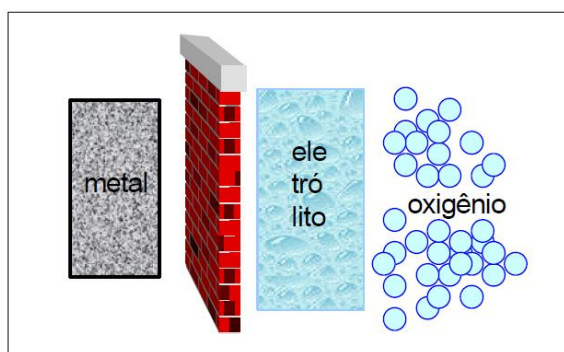
2.5 FORMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO

Nem a corrosão nem seu controle podem ser tratados isoladamente, o estudo de um pressupõe o estudo do outro, pois o próprio mecanismo de corrosão pode sugerir alguns modos de combate ao processo corrosivo. (GENTIL, 2010). No estudo de um processo corrosivo devem ser sempre consideradas as variáveis dependentes do material metálico, da forma de emprego e do meio corrosivo.

Para ocorrer a corrosão eletroquímica tem-se a necessidade de três componentes o metal, o eletrólito e o oxigênio, e para evitar a ocorrência das mesmas, basta eliminar um dos três componentes. É a partir deste princípio que ocorre os principais métodos de proteção contra a corrosão, como a desaeração do eletrólito, a diminuição ou eliminação da umidade do ar, a adição de inibidores de corrosão no eletrólito que eliminam o oxigênio livre, os revestimentos orgânicos e inorgânicos.

Estes métodos criam uma barreira, separando o metal do eletrólito, do oxigênio ou de ambos, se o procedimento for executado de forma perfeita, ocorre o impedimento da corrosão eletroquímica.

Figura 14 – Ilustração da proteção contra a corrosão por efeito barreira



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.5.1 Proteção catódica

Segundo CALLISTER(2010), é um dos meios mais eficazes para a prevenção da corrosão e pode ser usada em praticamente todos os tipos de degradação. Este é um método que foi utilizado pela primeira vez na Inglaterra, em 1824, foi criado para retardar a corrosão das chapas de cobre do casco de navios, mediante a fixação de pedaços de zinco na estrutura no Brasil este método é utilizado desde a década de 60 pela Petrobrás.

O funcionamento baseia-se em fazer com que toda a superfície de uma estrutura metálica adquira comportamento catódico, provendo a estrutura de um fluxo de corrente de proteção oriunda de uma fonte externa, com intensidade que seja capaz de anular as correntes de corrosão das diversas pilhas existentes na superfície metálica. Com isso, a corrosão é transferida para um material metálico de custo relativamente mais baixo que é usado como ânodo.

2.5.2 Proteção anódica

Este tipo de proteção contra a corrosão surgiu em 1954, e o seu funcionamento se dá através da formação de um filme de óxido protetor por aplicação de corrente anódica externa, que possibilite a passivação do material metálico.

Segundo GENTIL (2007), a aplicação da proteção anódica faz com que a dissolução do filme de óxido seja impossível e qualquer falha que apareça no filme é reparado de forma automática pela formação de um novo filme de óxido. Este tipo de proteção só pode ser aplicada a metais ou ligas que se passivem, com o ferro, níquel, cromo e respectivas ligas, e não pode ser aplicada para zinco, prata e cobre.

Com esta proteção a corrente inicialmente aplicada é elevada, porém é pequena para manter a passividade o que limita o uso deste método em meios muito agressivos e também as condições de operação na proteção anódica são bem definidas por medições eletroquímicas.

2.5.3 Inibidores para proteção temporária

Um material metálico, ou conteúdo componentes metálicos, se não for adequadamente protegido, durante sua fabricação, estocagem ou transporte, pode sofrer corrosão antes mesmo de sua utilização. Entre os materiais mais sujeitos a este problema estão:

- Ferro e peças de aço;
- Zinco e peças galvanizadas;
- Cobre e suas ligas;
- Alumínio e suas ligas;

A corrosão durante a fabricação, estocagem ou transporte, mesmo sendo muito pequena, pode tornar a peça ou componente inadequados para o uso, devido à perda das dimensões

críticas, ou até mesmo por problemas estéticos, e com isso causa prejuízos que poderiam ser evitados se tivessem sido consideradas as medidas usuais de proteção.

As medidas usuais de proteção temporária contra a corrosão podem ser apresentadas da seguinte forma:

- Controle do meio ambiente – ventilação, desumidificação, controle de impurezas do ar;
- Emprego de substância anticorrosivas formadoras de películas de proteção – óleos protetores, graxas protetoras;
- Uso de embalagem adequada, usando papéis impregnados com sílica gel, alumina ativada, óxido de cálcio;
- Uso combinado das medidas anteriores;

“ O método de proteção usando protetivos temporários é baseado na obtenção de uma película superficial, fácil de aplicar e remover, que atua como uma barreira de proteção, impedindo a penetração de umidade e de substâncias agressivas.”(GENTIL, 2007, p. 216).

Segundo GENTIL(2007), os protetivos temporários formadores de películas podem ser divididos em grupos e subgrupos, são eles:

- I. Protetivos temporários contra a corrosão, aplicados por diluição em água:
 - Protetivos emulsionáveis em água;
 - Óleos protetivos solúveis em água;
 - Produtos químicos solúveis em água;
- II. Protetivos temporários contra a corrosão, tipo óleo:
 - Óleos anticorrosivos para proteger superfícies metálicas expostas;
 - Óleos anticorrosivos para proteger superfícies internas de conjuntos montados;
- III. Protetivos temporários contra a corrosão aplicados por diluição em solventes voláteis:
 - Oleosa ou graxa do tipo não-secativo;
 - Semi-secativa cerosa e firme;

- Secativa dura, elástica e transparente, semelhante a um verniz;
- Plástica facilmente destacável ;

IV. Protetivos temporários aplicados a quente:

- Produtos à base de vaselina e ceras que formam uma película macia, espessa e graxosa;
- Produtos termoplásticos formadores de película grossa, resistente e facilmente destacável;

2.5.4 Modificações de propriedades de metais e de projetos

“ Nem sempre é possível ou conveniente se acrescentar um inibidor para diminuir a ação corrosiva de um determinado meio. Essa impossibilidade depende de vários fatores, como custo elevado do inibidor, contaminação de produtos e influência no processo industrial. Nesses casos, deve-se usar outras medidas de proteção, como modificações no processo de propriedades de metais e projetos.” (GENTIL, 2007, p. 220).

2.5.4.1 Modificações de propriedades de metais

Alguns metais como o alumínio apresentam boa resistência a corrosão, no entanto, suas propriedades mecânicas não são adequadas para o uso industrial, por isso procura-se preparar ligas desses metais visando as melhores propriedades mecânicas, por outro lado outros metais como o ferro apresentam ótima propriedades mecânicas, porém se oxidam facilmente, por isso é então que surge outras ligas como os aços inoxidáveis. (GENTIL 2007)

Em muitos casos a adição de pequenas quantidades de elementos de liga influenciam mais nas propriedades mecânicas do que na taxa de corrosão. Entretanto, pode ocorrer uma influência acentuada na taxa de corrosão em determinado meio corrosivo como podemos notas na tabela a seguir.

Tabela 1 – Taxas de corrosão do ferro e de algumas ligas.

Material	Tempo de exposição = 1 ano		
	Perdas em g/dm ²		
	Água potável %	NaCl 3%	H ₂ SO ₄ 0,5%
Ferro puro	8,8	5,2	1,2
Ferro forjado	8,7	6,4	7,1
Ferro fundido	8,8	6,8	20,5
Aço-carbono	9,0	7,2	3,6

Fonte: GENTIL (2007).

2.5.4.2 Modificações de projetos

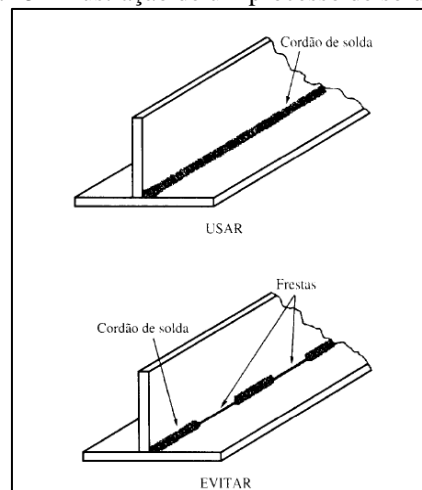
A agressividade dos meios encontrados nas indústrias faz com que os engenheiros projetistas tenham em mente fatores que não são normalmente encontrados em outras áreas da engenharia. O engenheiro projetista quando for especificar o detalhamento de um projeto, assim como determinar os métodos de fabricação e de montagem de estruturas ou equipamentos, necessita aplicar de forma inteligente seus conhecimentos sobre a corrosão, para não ocorrer erros que poderão significar em grandes perdas futuras.

Segundo GENTIL(2007), na especificação de materiais, deve-se considerar, além das variáveis do processo corrosivo, aquelas relacionadas com:

- Propriedades mecânicas e aparência;
- Facilidade de obtenção, de soldagem e de usinagem;
- Compatibilidade com equipamentos já existentes;
- Disponibilidade e tempo de fornecimento;
- Segurança;
- Vida estimada do material ou processo;
- Custos dos materiais de fabricação, de inspeção e de manutenção;
- Retorno do investimento;

A seguir uma imagem ilustrativa que serve como orientação no sentido do emprego correto de materiais metálicos sendo de grande valia na fase de projetos de equipamentos e instalações industriais. Mostrando inclusive que soldas descontínuas possibilitam a presença de corrosão em frestas.

Figura 15 – Ilustração de um processo de soldagem.



Fonte: GENTIL (2007).

Segundo RABALD (1968), é preciso seguir algumas medidas úteis que devem ser consideradas na fase de projeto e estão listadas a seguir:

- Superdimensionar adequadamente as espessuras das diferentes partes dos materiais, tendo conhecimento prévio do tipo e intensidade de corrosão que serão esperados durante a utilização do equipamento;
- Usar soldas bem acabadas, contínuas e aliviadas de tensões;
- Não formar ângulos fechados e estrangulamentos desnecessários nas tubulações, afim de evitar turbulência e ação erosiva do meio;
- Evitar contato direto de materiais metálicos de potenciais diversos, porém quando for inevitável a existência da diferença de potencial, deverá ser especificado a colocação nos pontos de conexão, de gaxetas de niples ou de arruelas não metálicas que agirão como isolantes;
- Evitar cantos vivos onde películas protetoras de tintas possam romper-se;
- Prever o máximo de acessibilidade à parte dos equipamentos mais sujeitos à corrosão, afim de facilitar a inspeção e manutenção do mesmos;
- Usar revestimento protetor adequado para o equipamento, o que impedirá a condensação de umidade diretamente nas paredes metálicas;
- Localizar o equipamento, sempre que possível, o mais afastados de vapores corrosivos provenientes de outra área fabril;

2.5.5 Revestimentos metálicos

“Um dos métodos muito utilizados para proteção contra a corrosão é a aplicação de revestimentos metálicos. Dois tipos de revestimentos desta natureza podem ser utilizados: os catódicos ou os anódicos.” (GENTIL, 2007, p. 235). Os anódicos são preferidos quando o único requisito é a proteção contra corrosão e no meio de exposição o metal de revestimento apresenta baixa taxa de corrosão. Os catódicos são utilizados quando se deseja conferir, além da proteção contra corrosão, uma ou mais propriedades adicionais ao revestimento, tais como condutividade elétrica e resistência à abrasão.

Segundo GENTIL (2007), Os metais empregados nos revestimentos anticorrosivos podem ter suas ações protetoras explicadas por diversos fatores, como por exemplo, formação de películas protetoras de óxidos, hidróxidos ou outros compostos, pela reação com os oxidantes do meio corrosivo. Os metais usados nos revestimentos apresentam valores elevados de sobretensão ou sobrevoltagem, sendo por isso mais resistentes ao ataque ácido em meios não-aerados, os métodos mais utilizado durante o processo de revestimento serão citados a seguir:

“A cladização ou cladeamento é um método, de revestimento para controle da corrosão , muito utilizado na indústria, e pode ser feito pela laminação conjunta, a quente de chapas do metal base e do revestimento, pelo processo de explosão ou por solda” (GENTIL, 2007, p. 235).

Outro método utilizado durante o revestimento metálico é a reposição por imersão a quente que obtém-se, entre outras, as superfícies zincadas e as estanhadas. O processo de zincagem por imersão é também denominado de galvanização.

“Metalização é um processo por meio do qual se deposita sobre uma superfície previamente preparada camadas de materiais metálicos. Os metais de deposição são fundidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada, por meio de combustão de gases, arco elétrico, plasma e por detonação. O metal fundido é pulverizado e aspergido sobre o substrato a proteger. (GENTIL, 2007, p. 238).

“Eletr deposição consiste na deposição de metais que se encontram sob a forma iônica em um banho. A superfície a revestir é colocada no catodo de uma célula eletrolítica. Por eletr deposição é comum revestir-se com cromo, níquel, ouro, prata, estanho e, principalmente, cádmio, que por ser um metal muito tóxico é empregado como revestimento aplicado por este processo.” (GENTIL, 2007, p. 238).

Portanto pode-se afirmar que a complexibilidade do equipamento é que vai ditar o método mais indicado. Na maioria dos casos o revestimento é feito somente no lado do material exposto, que fica em contato com o meio corrosivo, e o conjunto material exposto-revestimento é chamado de clad, a espessura da camada de metal de revestimento geralmente é de no mínimo 2mm.

2.5.6 Revestimentos não-metálicos inorgânicos

Este tipo de revestimento consiste na interposição de uma película não-metálica inorgânica entre o meio corrosivo e o metal que se quer proteger. Os mecanismos de proteção

são, essencialmente, por barreira e por inibição anódica, e dentre os principais revestimentos inorgânicos segundo GENTIL (2007), pode – se citar:

- Anodização que consiste em tornar mais espessa a camada protetora passivante existente em certos metais, especialmente no alumínio.
- Cromatização que consiste na reação da superfície metálica com soluções ligeiramente ácidas contendo cromatos. A camada de cromatos passivante aumenta a resistência à corrosão da superfície metálica que se quer proteger;
- Fosfatização que consiste na adição de uma camada de fosfatos à superfície metálica. A camada de fosfatos inibe processos corrosivos e constitui-se, quando aplicada em camada fina e uniforme, em uma excelente base para pintura, em virtude da sua rugosidade
- Revestimento com argamassa de cimento e consiste na colocação de uma camada de argamassa de cimento, com espessura da ordem de 3 a 6 mm, sobre a superfície metálica.
- Revestimento com vidro consiste na colocação de uma camada de vidro sobre a superfície metálica. Esta camada é aplicada sob a forma de esmalte e fundida em fornos apropriados

2.5.7 Revestimentos não-metálicos orgânicos

Este tipo de revestimento não-metálico consiste na interposição de uma camada de natureza orgânica entre a superfície metálica e o meio corrosivo. E segundo GENTIL (2007), os principais revestimentos orgânicos são os seguintes:

- Pintura industrial é um revestimento largamente empregado para o controle de corrosão em estruturas aéreas e, em menor escala, em superfícies enterradas ou submersas. O revestimento por pintura é empregado para estruturas submersas que possam sofrer manutenção periódica em dique seco.
- Revestimento com borrachas consiste no recobrimento da superfície metálica com uma camada de borracha, utilizando-se o processo de vulcanização. É um revestimento que pode assumir diversas durezas dependendo do tipo de borracha e do processo de vulcanização.

2.6 EFEITOS DO MEIO AMBIENTE

“As variáveis no ambiente de corrosão que incluem velocidade, temperatura e composição do fluido, podem ter uma influência decisiva sobre as propriedades de corrosão dos materiais que estão em contato com esse ambiente.” (CALLISTER, 2010 p. 590).

Na maioria das situações um aumento na velocidade do fluido aumenta a taxa de corrosão devido a efeitos de erosão. As taxas da maioria das reações químicas aumentam em relação a temperatura, isso também é válido para a maioria das situações de corrosão. O aumento da concentração da espécie corrosiva produz em algumas situações, uma taxa de corrosão mais elevada, no entanto, para os materiais capazes de passivação, o aumento no teor do material corrosivo pode resultar em uma transição ativo-passivo como uma redução considerável na corrosão.

O trabalho a frio ou em uma deformação plástica de metais dúcteis é usado para aumentar a resistência mecânica, entretanto um metal trabalhado a frio é mais suscetível à corrosão que o mesmo material em um estado recozido.

2.7 MEIOS CORROSIVOS

No decorrer deste capítulo serão apresentados os meios corrosivos encontrados com maior frequência, dentre eles é destacado a importância que representa a natureza do meio corrosivo que se encontra na imediata proximidade da superfície metálica, com isso no caso de trocadores de calor o meio corrosivo vai apresentar uma temperatura mais elevada na parte em contato imediato com a superfície metálica dos tubos.

2.7.1 Atmosfera

A importância da atmosfera como meio corrosivo pode ser confirmada, pelo grande número de publicações científicas relacionadas com ensaios de corrosão utilizando diferentes materiais metálicos e prolongados períodos de exposição. (CALLISTER 2010).

A ação corrosiva da atmosfera depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

- Umidade relativa;
- Substâncias poluentes e gases;

- Temperatura;
- Tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície metálica;

Além disso é preciso considerar os fatores climáticos, como a intensidade e direção dos ventos, variações cíclicas de temperatura e umidade, chuvas e radiações ultravioleta.

Segundo SHREIR (1978) A corrosão atmosférica deve ser classificada em função do grau de umidade na superfície metálica, em seca, úmida e molhada.

A corrosão atmosférica seca ocorre em atmosfera isenta de umidade, sem qualquer presença de filme de eletrólito na superfície metálica. Tem-se uma lenta oxidação do metal como formação do produto de corrosão, podendo o mecanismo ser considerado puramente químico, caso do escurecimento do cobre, devido a presença de gás sulfídrico na atmosfera ou meio ambiente.

A corrosão atmosférica úmida ocorre em atmosferas com umidade relativa menor do que 100%. Tem-se um fino filme de eletrólito, depositado na superfície metálica, e a velocidade do processo corrosivo depende da umidade relativa, poluentes atmosféricos e higroscopicidade dos produtos de corrosão.

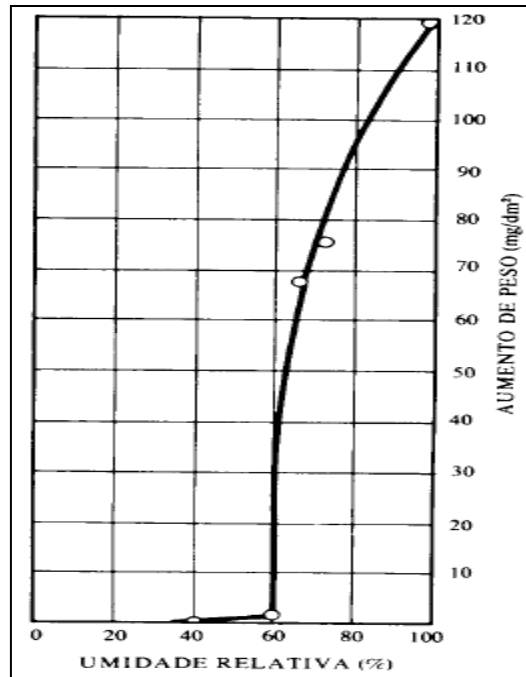
Na corrosão atmosférica molhada, a umidade relativa está perto de 100% e ocorre condensação na superfície metálica, observado que a superfície fica molhada com o eletrólito, como por exemplo chuva e névoa depositadas em uma superfície metálica.

2.7.1.1 Umidade Relativa

A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada, pois o ferro em atmosfera de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão, em umidade relativa em torno de 60% o processo corrosivo é lento, mais acima de 70 % ele é acelerado. A umidade relativa pode ser expressa pela relação entre teor de vapor de água encontrado no ar e o teor máximo que pode existir no mesmo, nas condições consideradas, ou então pela relação entre a pressão parcial de vapor da água no ar e a pressão de vapor da água saturado, na mesma temperatura. (CALLISTER 2010).

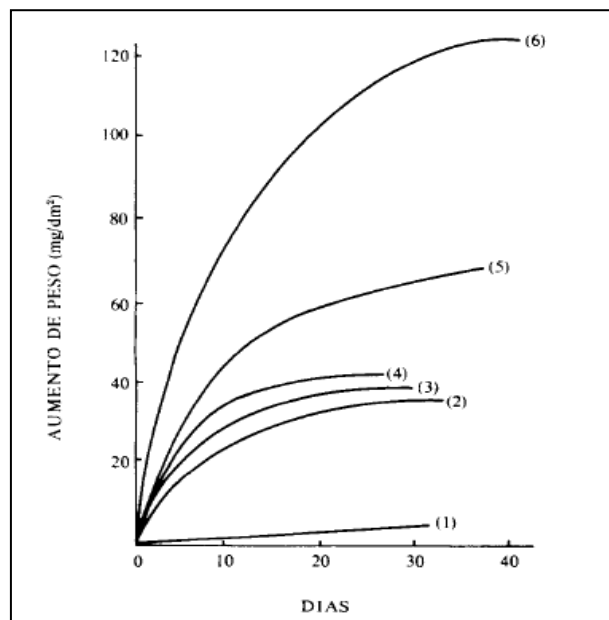
Segundo VERNON (1998) Se além da umidade, houver também a presença de substâncias poluentes, evidentemente que a velocidade de corrosão é acelerada. Vernon verificou também a rápida aceleração do processo corrosivo quando a umidade atingia um valor crítico, o que chamou de umidade crítica, definida como a umidade relativa acima da qual o metal começa a corroer-se de maneira apreciável.

Gráfico 1 – Corrosão do ferro em função da umidade relativa da atmosfera



Fonte: GENTIL(2007).

Gráfico 2 – Curvas Relacionando a umidade relativa e cloreto de sódio



Fonte: GENTIL(2007).

2.7.1.2 Gases poluentes

Além dos gases constituintes da atmosfera, principalmente oxigênio e nitrogênio, são frequentemente encontrados monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozônio, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, entre outros. Embora haja predominância e maior frequência de ocorrência desses gases, são encontrados referências de corrosão de cobre devido à presença de ácidos orgânicos, como o ácido acético, na atmosfera. A presença desses gases está evidentemente associada aos diferentes tipos de indústrias bem como os combustíveis utilizados. (CALLISTER 2010).

O gás carbônico, ou dióxido de carbono, juntamente com o monóxido de carbono, são normalmente originados da queima de combustíveis. Em temperaturas normais encontradas na atmosfera eles costumam ser corrosivos para os materiais metálicos.

2.7.2 Águas naturais

Os materiais metálicos em contato com água tendem a sofrer corrosão, a qual vai depender de várias substâncias que podem estar contaminando a água que são os gases dissolvidos, os sais dissolvidos, a matéria orgânica de origem animal ou vegetal, as bactérias e algas. Também devem ser considerados o pH da água, a velocidade de escoamento e temperatura.

Dentre os agentes corrosivos naturais, a água do mar é um dos mais energéticos, pois, contendo concentrações relativamente elevadas de sais, funciona como um eletrólito forte, permitindo, assim, um processo eletroquímico de corrosão rápido.

Figura 16 – Ação Corrosiva da água do mar em boia marítima



2.7.3 Solo

Segundo CALLISTER (2010), o comportamento do solo como meio corrosivo deve ser considerado de grande importância, levando-se em consideração as enormes extensões de oleodutos, gasodutos, cabos telefônicos e tubulações de água que exigem um controle rigoroso de manutenção para evitar corrosão acelerada. A velocidade de corrosão no solo não é muito influenciada por pequenas variações na composição ou estrutura do aço. O que vai influenciar mais é a natureza do solo. Assim, destacam-se os seguintes fatores: porosidade condutividade elétrica, sais dissolvidos, umidade, corrente de fuga, pH e bactérias.

2.7.4 Produtos Químicos

Em equipamentos usados em processos químicos, deve-se levar em consideração duas possibilidades: deterioração do material metálico do equipamento e contaminação do produto químico. Os fatores que influenciam são vários e complexos em alguns casos. Entre eles: pureza do metal, contato de metais dissimilares, natureza da superfície metálica, pureza do produto químico, concentração, temperatura e aeração.

2.7.5 Alimentos

A importância do efeito corrosivo dos alimentos está ligada à formação de possíveis sais metálicos tóxicos: geralmente emprega-se ácidos orgânicos como agentes conservadores dos alimentos, no entanto, esses ácidos podem atacar os recipientes metálicos.

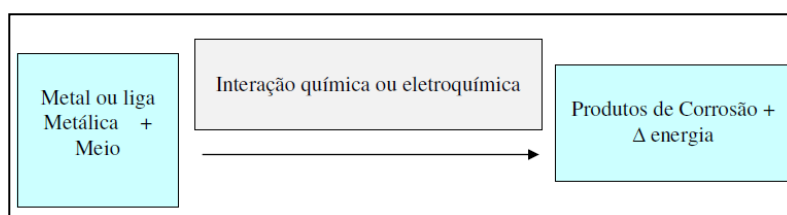
2.7.6 Substâncias Fundidas

A corrosão ocasionada por esses meios corrosivos está ligada ao fato do material metálico ser solúvel no composto ou no metal fundido. No caso de metais fundidos tem-se a formação de ligas ou de compostos intermetálicos. No caso de compostos fundidos pode-se ter também o ataque do material metálico por ação de oxidação.

2.8 CORROSÃO DE MATERIAIS METÁLICOS

“A corrosão é, geralmente, um processo espontâneo, e se não houvesse mecanismos protetores, ter-se-ia deterioração completa dos materiais metálicos, uma vez que os processos de corrosão são reações químicas e eletroquímicas que ocorrem na superfície do metal (GENTIL, 2007)”. PANOSSIAN (1993) definiu de forma resumida a corrosão metálica como:

Figura 17 – Reação geral da corrosão de materiais metálicos



Fonte: PANOSSIAN (1993).

No esquema acima da figura 17 mostra que a corrosão metálica é uma reação que envolve energia. Esta será espontânea se o metal ou meio perder energia, ou seja, se a variação de energia durante o processo de corrosão for negativa (por exemplo, a exposição do aço em atmosfera corrosiva). Se a variação da energia for positiva, a reação não será espontânea, ou seja, será necessário fornecer energia para o metal ou meio para que esta ocorra (PANOSSIAN, 1993).

A corrosão envolve transferência de cargas na interface material e solução, ou seja, transferência de cargas entre um condutor eletrônico (eletrodo), e um condutor iônico (eletrólito). Isto é chamado de reação eletroquímica, que é responsável pela corrosão de materiais metálicos (GEMELLI, 2001). O metal, em um processo corrosivo, poderá ser inutilizado para uso se os produtos de corrosão forem solúveis no meio ou formarem produtos não-compactados e nãoaderentes ao metal. O tempo para sua inutilização será tanto menor, quanto maior a velocidade da reação. Se os produtos de corrosão formarem uma camada compacta, uniforme e aderente ao metal, a velocidade de reação será bem mais lenta (PANOSSIAN, 1993).

A corrosão, como processo destrutivo, causa danos em quase todos os setores da atividade humana. A corrosão pode ter efeitos catastróficos, uma vez que há perda das propriedades mecânicas do material corroído, e esse pode vir a falhar precocemente

comprometendo, por exemplo, estruturas de pontes, navios, componentes de máquinas e sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica (GENTIL, 2007).

2.9 CORROSÃO ATMOSFÉRICA

A corrosão atmosférica é uma reação eletroquímica que ocorre em um sistema compreendido por um material metálico exposto ao ambiente coberto por uma camada superficial de água, mais os produtos de corrosão e possivelmente outros depósitos. Este tipo de corrosão é basicamente, causada e determinada pela concentração e a velocidade de deposição de poluentes. Ambos os parâmetros são influenciados pelas condições atmosféricas, tais como, velocidade e direção dos ventos, média de temperatura, umidade relativa (GENTIL, 2007)

A umidade sobre superfícies, causada pela alta umidade relativa do ar ou ainda pela formação de neblina, promove a corrosão de superfícies metálicas e aumenta o fluxo de deposição de poluentes. A presença de sais higroscópicos, tais como o cloreto de sódio (NaCl), tende a formar películas eletrolíticas na superfície do metal, sendo que os processos de corrosão, nesse caso, irão depender das características do metal, bem como das condições ambientais como índice pluviométrico e velocidade dos ventos.

Grande parte dos materiais metálicos e equipamentos estão expostos às agressividades do ambiente e suas condições físico-químicas e termodinâmicas, e estima-se que a metade das perdas globais por corrosão é consequência da degradação pela atmosfera. Isso faz com que o impacto ambiental seja grande, já que o processo de extração dos metais das reservas mundiais de minérios, que são recursos não renováveis, demandam recursos e, também, energia para repor os metais perdidos pela corrosão. É o caso do aço, que mesmo sendo uma das mais resistentes ligas metálicas já formuladas pelo homem, no qual um quinto da produção mundial é destinado para repor as perdas causadas pela sua degradação e, só nos EUA, representa 3% do PIB de todos os anos, um montante estimado de US\$ 400 bilhões (BRAMBILLA, 2011).

2.9.1 O ar atmosférico e sua influência sobre os materiais

O ar proveniente do oceano ao continente é rico em aerossóis resultantes da evaporação e do seu transporte mecânico pelos ventos. A concentração de íons presente no ar atmosférico é uma fonte de degradação por conter, normalmente, compostos de sulfato e de cloretos que são os agentes corrosivos mais comuns e importantes, como vêm sendo estudados por diferentes autores (MENDOZA, 2000).

Do total de sais das águas oceânicas, 7,68% são sulfatos, enquanto que, os cloretos representam 55,4%. Essa composição é similar à contida nos aerossóis marinhos, demonstrando a importância dos íons cloreto na degradação de materiais em regiões costeiras. A concentração desses na atmosfera depende de fatores como altitude, distância do mar, características orográficas e topográficas da região, velocidade e direção dos ventos, etc. (MORCILLO *et al.*, 2000).

2.9.2 Classificação de corrosividade atmosférica

Segundo a (NORMA ISO 9223, 1992) estão recomendados valores de alguns parâmetros ambientais, como tempo de superfície úmida, o teor de cloretos e de óxidos de enxofre para classificar a agressividade do ambiente, também chamada corrosividade ambiental (ABNT NBR 14643, 2001). Na norma, por sua vez, não estão considerados fatores como precipitação, radiação solar e a ação dos ventos que influenciam diretamente na corrosão, por serem difíceis de generalizar e muito específicos para diferentes materiais. Esta norma, em conjunto com outras três normas (ISO 9224, 9225 e 9226) têm, também, o objetivo de fornecer guias padrões para classificar o grau de corrosividade da atmosfera frente aos materiais metálicos, como o aço carbono, o aço galvanizado, alumínio e outros. A NBR 14643 (ABNT NBR 14643, 2001) é equivalente a estas e caracteriza a atmosfera em cinco categorias de corrosividade, podendo ser realizada a partir das taxas de corrosão obtidas no primeiro ano de exposição conforme mostrado na tabela 02 abaixo.

Tabela 2 – Categorias de corrosividade atmosférica

Categoria de Corrosividade	Agressividade
C₁	Muito baixa
C₂	Baixa
C₃	Média
C₄	Alta
C₅	Muito Alta

Fonte: ABNT NBR 14643 (2001).

Segundo (MORCILLO 2000) O valor numérico denominado índice de deterioração de Brooks (Id), representa o potencial de corrosão a partir de dados meteorológicos e é calculado a partir da pressão de saturação do vapor de água à temperatura e umidade relativa médias de cada região. De acordo com esse índice, foram estabelecidos diferentes graus de deterioração, conforme ilustrado na tabela 2 logo abaixo.

Tabela 3 – Índices de deterioração de Brooks.

Id	Grau de Deterioração	Id	Agressividade
Id < 1	Muito baixo	0 – 1	Não agressivo
1 < Id < 2	Baixo	1 – 2	Muito pouco agressivo
2 < Id < 5	Moderado	2 – 4	Pouco agressivo
Id > 5	Alto	4 – 5	Agressivo
		5 – 10	Muito agressivo

Fonte: ABNT NBR 14643 (2001).

2.9.3 Mecanismo do processo de corrosão atmosférica

A composição química básica da atmosfera é uma mistura de gases que pouco varia, e os principais componentes são o oxigênio, o nitrogênio e o vapor d'água. Mas, alguns contaminantes podem estar presentes em proporções variáveis de acordo com a proximidade das fontes e das condições climáticas. São provenientes de fontes naturais, como é o caso dos íons cloreto, em regiões litorâneas, ou fontes artificiais, resultado das atividades antrópicas, como fumaça, cinzas, partículas em suspensão, vapores ácidos e gases de motores de combustão interna e de processos industriais. Os fatores climáticos e ambientais vão formar o macroclima, caracterizado pelo ambiente ao redor dos materiais, e o microclima, que é o clima específico que se forma na superfície dos materiais (FELIU, 1982).

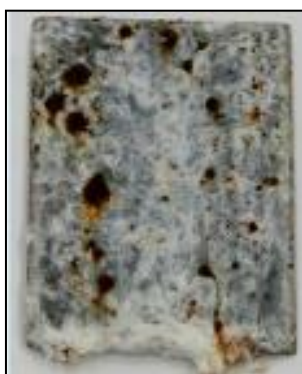
O macroclima de uma região contribui diretamente no processo de degradação e é definido por precipitações aquosas (chuva, neve, neblina), a condensação da umidade ocorrida por mudanças de temperatura (orvalho) aliada à radiação solar e a composição química da atmosfera. Por sua vez, o microclima vai estar relacionado com a camada de eletrólito presente na superfície do material, composto por tempo de superfície úmida, derivado do orvalho e das precipitações, pelo aquecimento dos materiais pela radiação, principalmente infravermelha, e

pelo acúmulo de íons halogenetos (SO_3 , NO_x , Cl). A tendência é que quanto menor seja a camada de eletrólito, maior será a deposição desses contaminantes atmosféricos (FELIU, 1982).

2.9.4 Corrosão atmosférica do aço galvanizado

A boa resistência à corrosão do zinco e seu baixo preço é a razão para seu uso difundido como revestimento para o aço galvanização em muitas aplicações, principalmente em situações de exposição atmosférica. A resistência à corrosão do revestimento galvanizado depende da espessura total da camada depositada e da agressividade do meio (HALL, 1970; LIMA 2007). Em ambientes rurais essa resistência deve-se ao fato da formação de uma película básica protetora de carbonato do zinco na superfície do revestimento (CHEN., 2006). Segundo LIMA (2007) em condições de exposição atmosférica as ligas de Ferro e Zinco que unem o revestimento externo de zinco ao substrato de ferro ou aço, apresentam maior resistência à corrosão do que a camada externa de zinco fase eta .O ataque da camada eta ocorre de forma irregular com uma morfologia semelhante a dentes de serra, Esta camada na atmosfera tem o mesmo comportamento que uma chapa de zinco, tornando-se progressivamente coberta por uma camada de carbonato hidratado de zinco resultante da ação combinada de O_2 , CO_2 e umidade do ar (LIMA , 2007).

Figura 18 – Corrosão vermelha no aço galvanizado



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.9.5 Corrosão atmosférica do aço carbono

De acordo com a termodinâmica, um metal se dissolve pela formação de íons metálicos, nas condições em que se formam os produtos solúveis, ocorre a corrosão, enquanto que, a formação de produtos insolúveis pode paralisá-la, protegendo o metal por passivação. A velocidade de corrosão alcança em um determinado período de exposição um regime estável e, a partir daí, não há alteração significativa durante a exposição posterior (SICA, 2006). Os produtos da corrosão do ferro são distintos de acordo com a atmosfera exposta. Em atmosferas rurais, urbanas e industriais, longe da costa, os mais detectados são exclusivamente a goetita e lepidocrocita. Já, em atmosferas marinhas, são detectadas a formação da akaganeita e magnetita, e com posterior lixiviação com água destilada quente e posterior concentração, são encontrados cloretos e sulfatos de ferro solúveis, que tendem a se concentrar na camada aderente de produtos da corrosão (GENTIL, 2007).

Figura 19 – Corrosão atmosférica no aço carbono



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.9.6 Corrosão atmosférica do alumínio

A sua resistência é relacionada com a formação de um filme protetor contínuo, tenaz e muito aderente de óxido de alumínio hidratado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), que se forma rapidamente quando em contato com o ar em soluções de pH neutro, e por ser insolúvel é capaz de exercer excelente barreira contra a corrosão atmosférica (MORCILLO *et al.*, 2000).

O processo de degradação desse material é mais complexo que o do zinco e do cobre, já que pode ser atacado de maneira uniforme quando ocorre a dissolução da camada de óxido por ácidos ou outros íons reativos, levando a formação de sais solúveis e, também, pelos pites, que se constitui no seu dano principal (GENTIL, 2003). A presença de contaminantes atmosféricos

como os cloretos e dióxidos de enxofre agem no alumínio de forma a produzir compostos mais solúveis, modificando a cinética da corrosão.

Em zonas costeiras, os íons cloreto formam com o alumínio, complexos solúveis, que com o afinamento da camada protetora de óxido vai fazer com que surjam fissuras, que podem atingir grandes profundidades, muitas vezes, que não são notáveis a primeira vista, mas podem fazer com que o material perca sua função estrutural por danos mecânicos. Assim sendo, a avaliação de densidade e profundidade das fissuras é mais relevante na análise do processo corrosivo do que a perda de massa, ao contrário dos demais metais padrão. Porém, a perda de massa continua a ser a técnica mais empregada na averiguação das taxas de corrosão do alumínio, já que a medição das fissuras é bastante complicada e necessita equipamentos mais precisos (SICA, 2006).

Figura 20 – Corrosão atmosférica no alumínio



Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br> (2017).

2.9.7 Corrosão atmosférica do cobre

O cobre e suas ligas são largamente utilizados em sistemas de aquecimento e refrigeração, haja vista possuir adequada condutividade térmica e ótimas propriedades mecânicas. O cobre é um metal relativamente nobre, todavia pode sofrer corrosão severa em meios ácidos. Nesse aspecto, uma das formas de evitar a corrosão nas ligas de cobre é a utilização de inibidores em meios neutro ou alcalino, qual seja o benzotriazol, cuja sigla é BTAH (ZHANG, 2011).

Em contato com o oxigênio atmosférico, o primeiro produto de corrosão formado na sua superfície é a cuprita (Cu_2O). Em seguida, se formam sais alcalinos, quando em condições de

alto pH, que são resultados da reação com os contaminantes atmosféricos (SO_2 , Cl, CO_2). A camada interna da cuprita se comporta - como uma barreira física evitando a oxidação do metal assim como os outros produtos de corrosão formados, conferindo resistência quando em condições atmosféricas. Os sais alcalinos formados são insolúveis, e conferem, também, proteção ao material (GENTIL, 2003). Em condições de alta umidade, ocorre a adsorção e a oxidação do dióxido de enxofre (SO_2) e, junto com os óxidos de nitrogênio, vão levar a formação das pátinas. A presença de íons cloreto na atmosfera favorece a formação desse produto, já que são higroscópicos, e ajudam na formação de uma camada aquosa na superfície do material. De cor salmão, depois marrom-escuro e por fim, verde, esses produtos de corrosão são estudados já que conferem ao cobre grande resistência à degradação em ambientes expostos (VERA, 2007).

Figura 21 – Corrosão em tubulação de cobre



Fonte: <http://www.metallica.com.br/protecao-contra-corrosao> (2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os objetivos propostos no trabalho, e o desenvolvimento através da metodologia de pesquisa qualitativa, a qual procede à observação de fatos relacionado ao fenômeno da corrosão, à coleta de dados referentes aos mesmos e, finalmente, à análise e interpretação desses dados, com base numa fundamentação teórica consistente, objetivando compreender e explicar o problema pesquisado.

No estudo em questão foi monitorado o processo da corrosão do aço carbono SAE 1020, aço galvanizado, alumínio e cobre levando em conta as condições climáticas litorâneas e serranas de Santa Catarina. O projeto foi realizado durante os meses de março a novembro de 2018 através de corpos de prova que ficaram expostos a estas condições.

O estudo foi realizado através do monitoramento mensal de corpos de prova com as seguintes especificações e dimensões:

- Aço Carbono SAE 1020: chapa de aço 120x120x0,46mm.

Figura 22 – Chapa de aço carbono utilizado como corpo de prova



Fonte: Autor (2018).

- Aço Galvanizado Revestido e Escamado: chapa de aço 120x120x0,50mm

Figura 23 – Chapa de aço galvanizado utilizado como corpo de prova



Fonte: Autor (2018).

- Alumínio: chapa de alumínio 120x120x0,50 mm

Figura 24 – Chapa de alumínio utilizado como corpo de prova



Fonte: Autor (2018).

- Cobre: Bico de cobre para tocha Mig/Mag:1,0x 55mm

Figura 25 – Chapa de alumínio utilizado como corpo de prova



Fonte: Autor (2018).

3.1 ENSAIO DE INTEMPERISMO NATURAL

Segundo CALLISTER (2010), muitos materiais são utilizados em aplicações que exigem sua exposição às condições de um ambiente externo. Qualquer degradação resultante é denominada intemperismo que pode ser uma combinação de vários processos diferentes.

Neste segmento, foi analisado o processo de corrosão dos materiais metálicos fazendo a comparação das médias mensais das condições climáticas das duas regiões, considerando as seguintes variáveis:

- Média mensal de temperatura;
- Média mensal de volume de chuva;
- Média mensal da umidade relativa;
- Média mensal da radiação;

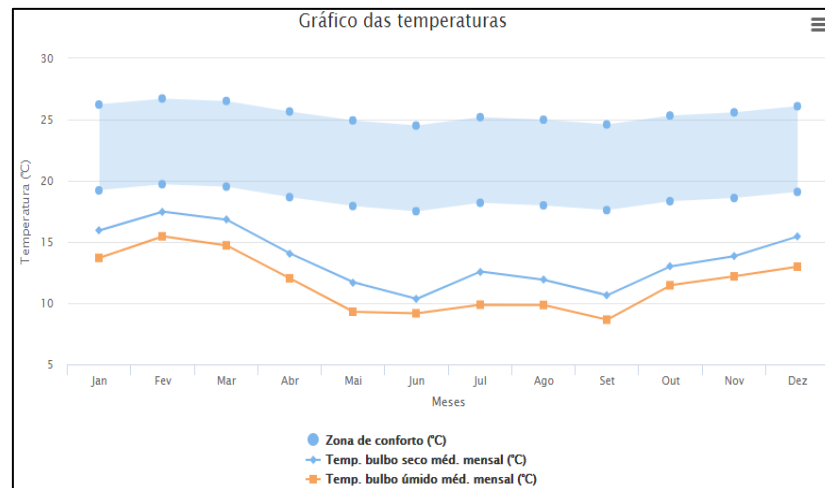
3.1.1 Média mensal da temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes que influenciam em ambientes de corrosão em geral a temperatura desempenha um importante efeito sobre os valores da taxa de

corrosão e da taxa da camada do produto de corrosão, pois quanto maior a temperatura maior a velocidade de reações eletroquímicas.

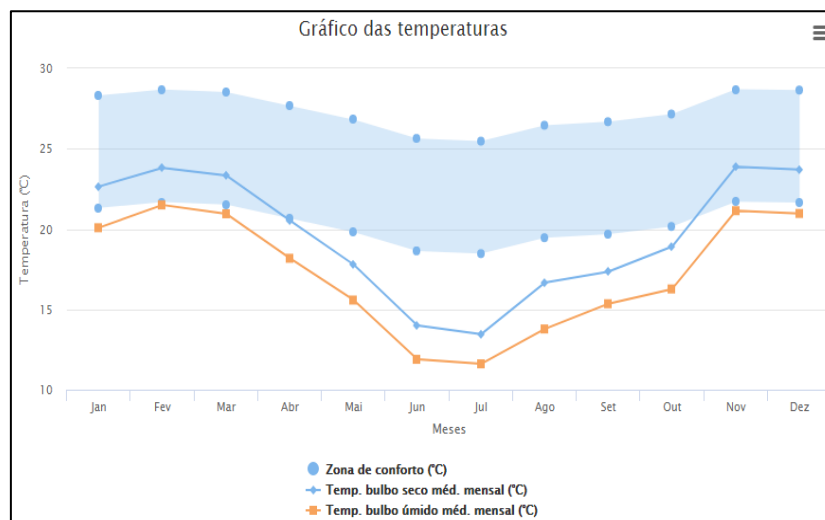
A seguir gráficos mostrando as médias mensais de temperaturas das duas regiões estudadas:

Gráfico 03 – Média mensal de temperatura, Lages-SC



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

Gráfico 04 – Média mensal de temperatura, Içara-SC



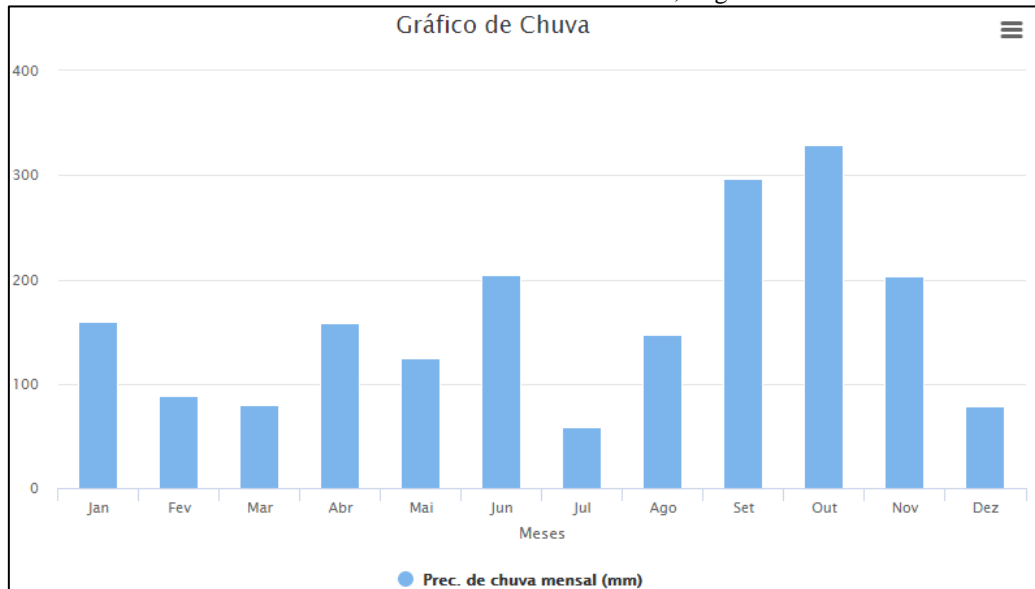
Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

3.1.2 Média mensal do volume de chuva

Os materiais metálicos em contato com a chuva tendem a sofrer corrosão, que vai depender das várias substâncias que possam contaminá-la em geral a presença da água favorece

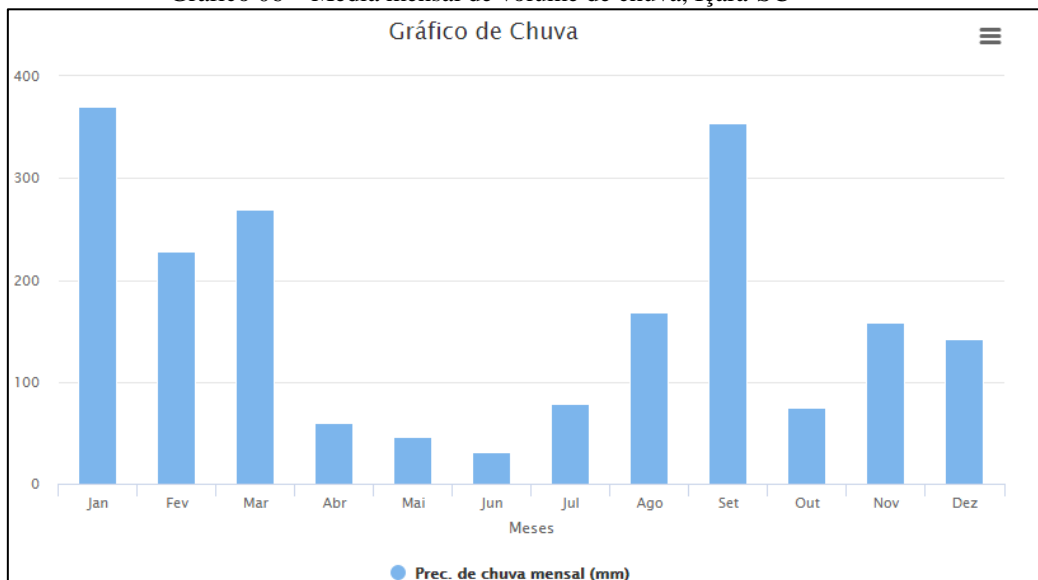
a formação da deterioração do material pois possui íons dissolvidos, o que facilita o fluxo dos elétrons. Nesse processo de corrosão devem ser considerados, também, o pH, a velocidade de escoamento e a temperatura da água. A seguir gráficos mostrando as médias mensais de volume de chuva das duas regiões estudadas:

Gráfico 05 – Média mensal de volume de chuva, Lages-SC



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

Gráfico 06 – Média mensal de volume de chuva, Içara-SC



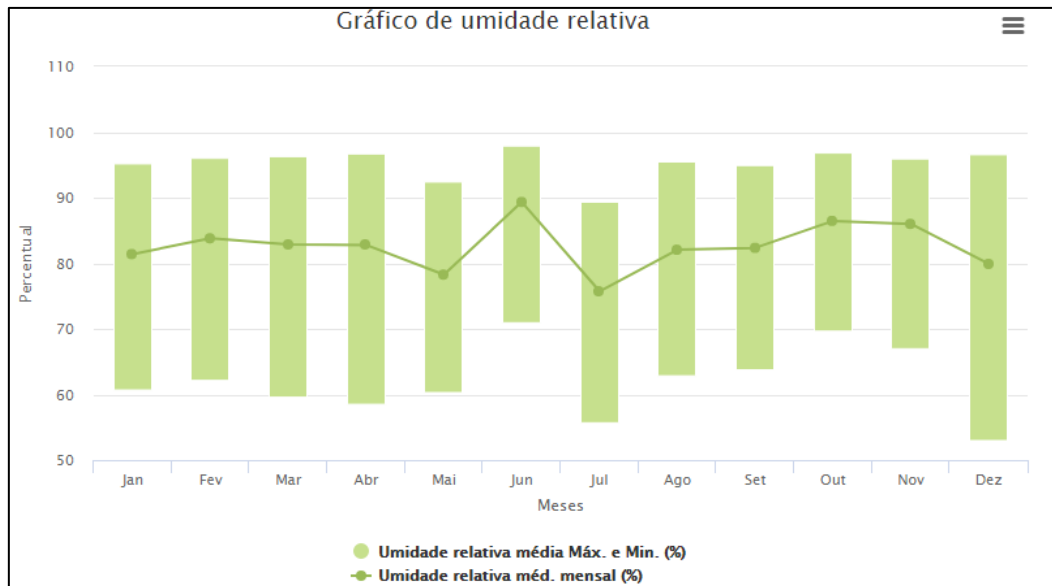
Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

3.1.3 Média mensal da umidade relativa

Em regiões de média e alta umidade relativa, a condensação do vapor forma uma lâmina de água que cobre parcial ou totalmente a superfície metálica gerando assim uma pilha de

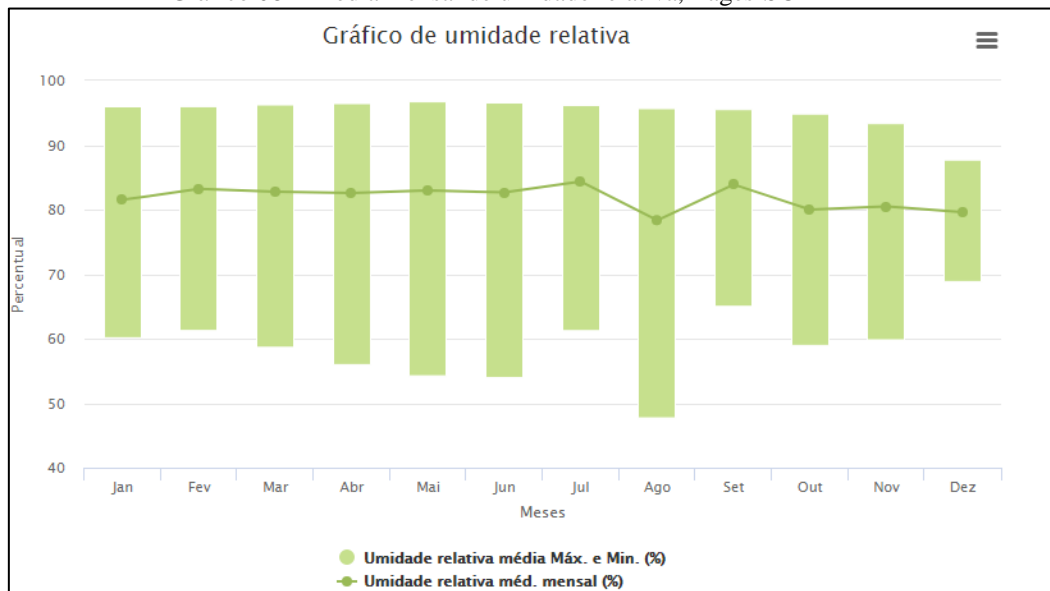
corrosão, portanto a umidade relativa influencia diretamente no processo de corrosão. A seguir gráficos mostrando a média mensal de umidade relativa das regiões estudadas.

Gráfico 07 – Média mensal de umidade relativa, Lages-SC



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

Gráfico 08 – Média mensal de umidade relativa, Lages-SC



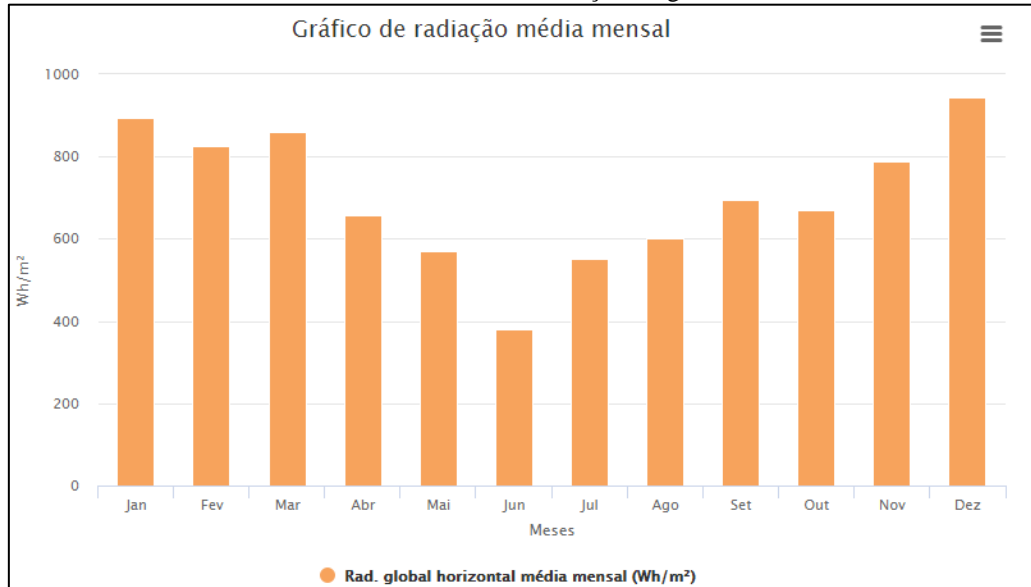
Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

3.1.4 Média mensal da radiação

A radiação está entre as principais variáveis que influenciam no processo da corrosão, pois ao interagir com os materiais metálicos, causa transformações irreversíveis e impactos

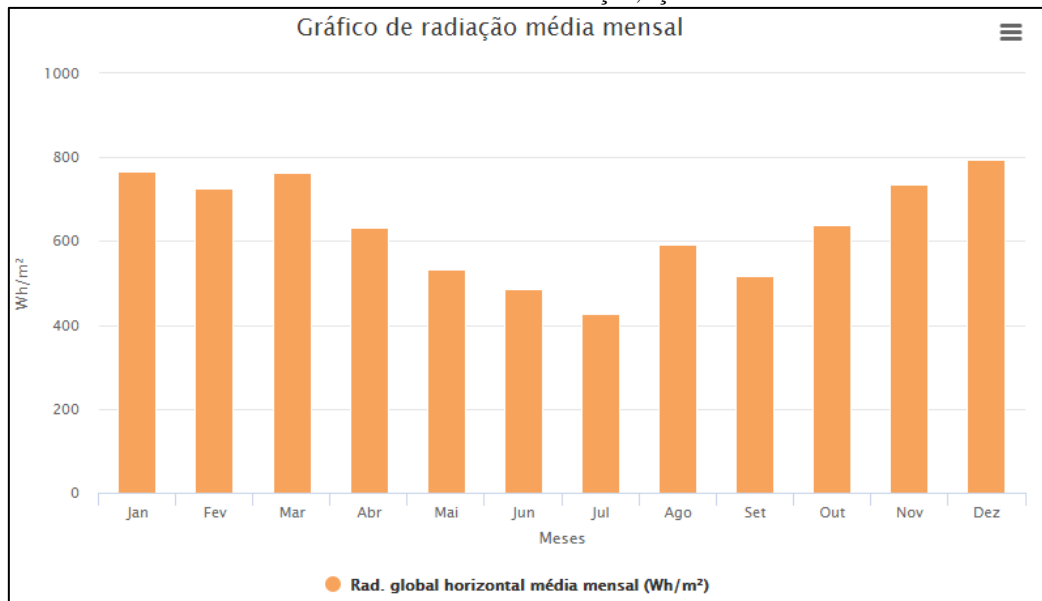
negativos na durabilidade e vida útil destes materiais. A seguir gráficos mostrando a média mensal da radiação das regiões estudadas.

Gráfico 09 – Média mensal de radiação, Lages-SC



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

Gráfico 10 – Média mensal de radiação, Içara-SC



Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em um primeiro momento foi comprovado através do monitoramento mensal que os materiais expostos no litoral catarinense sofreram uma degradação maior em relação aos os que ficaram expostos na serra catarinense, essa diferença de degradação se da principalmente devido as variáveis climáticas litorâneas serem mais agressivas, e o principal responsável por essa diferença é o fenômeno da maresia que segundo CASTRO,(1997), o termo "maresia" refere-se sobretudo a oxidação causada pela água do mar, provocando a corrosão de objetos metálicos nas proximidades do litoral.

Além das análises de intemperismo natural foram realizadas medições para averiguar a perda de massa e perda de espessura nos materiais estudados, indicando os índices de deterioração sofridos por cada material. No caso do aço carbono para o material exposto na região litorânea teve uma perda de 0,02 mm de espessura e uma perda de massa de 0,002 kg , para o aço galvanizado uma perda de espessura de 0,01mm e uma perda de massa de 0,001 kg, para o alumínio uma perda de massa de 0,01mm e perda de massa de 0,001 kg , e para o cobre embora tenha sofrido uma corrosão por escurecimento no corpo de prova exposto no litoral não foi o suficiente para ocasionar uma perda de massa ou de espessura.

Tabela 04 – Índices de Deterioração dos corpos de prova

ÍNDICES DE DETERIORAÇÃO				
MATERIAL	ESPESSURA	MASSA	PERCA ESP.(mm)	PERCA MASSA (kg/m³)
AÇO CARBONO	0,46mm	0,052kg	0,02mm	0,002
AÇO GALVANIZADO	0,50 mm	0,051kg	0,01mm	0,001
ALUMÍNIO	0,50 mm	0,018kg	0,01mm	0,001
COBRE	1,0 mm	0,047kg	*	*

Fonte: O Autor (2018).

Em regiões costeiras este fenômeno, que para a população costuma ser associada a um cheiro forte e característico que se desprende do mar, na vazante. No entanto, quimicamente, pode-se dizer que a maresia seria a ação oxidante da água do mar em razão das substâncias nela dissolvidas. A água do mar não é pura e por causa da ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos

metálicos que são corroídos. Esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, que são micropartículas presentes no ar que apresentam sais. Esses íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenômeno de oxirredução entre o oxigênio do ar e os metais. (FOGAÇA 2014).

Portanto é possível afirmar que em cidades que ficam em regiões costeiras ou litorâneas, esse processo se dá de forma muito mais acelerada. Isso representa um prejuízo econômico, social e tecnológico muito grande para a população e para o governo.

Nos próximos capítulos será discutido a degradação destes materiais por cada região.

4.1 MONITORAMENTO DO AÇO CARBONO

“A degradação atmosférica do aço carbono depende principalmente do tempo de superfície úmida, ou da temperatura e umidade relativa, além de depender dos poluentes da atmosfera, que aceleram o processo. Em ambientes mais agressivos, há uma grande tendência de formação de produtos de corrosão que passivam o material devido a sua exposição.” (CASTAÑO 2010 p.216).

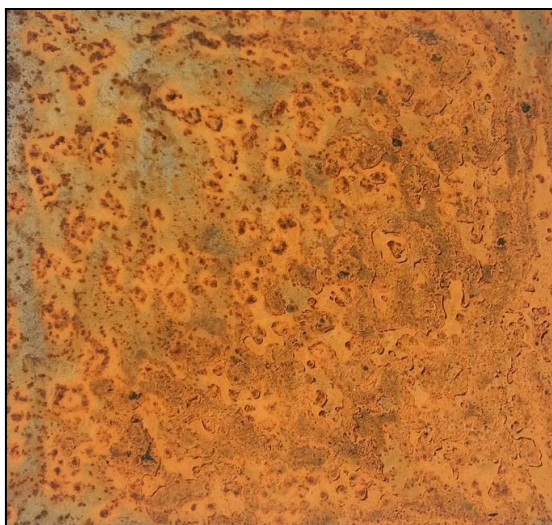
Como já dito antes, o estudo foi realizado expondo os materiais metálicos a condições naturais, e monitorando-os mensalmente, a baixo segue fotos mostrando a evolução do processo corrosivo no aço carbono.

Figura 26 – Corrosão no aço carbono SAE 1020 - Material exposto em Lages SC



Fonte: Autor (2018).

Figura 27 – Corrosão no aço carbono SAE 1020 - Material exposto em Içara - SC



Fonte: Autor (2018).

Foi possível constatar que a corrosão da chapa de aço carbono que ficou exposta no litoral de Santa Catarina sofreu uma degradação mais considerável em relação ao corpo de prova exposto na serra catarinense, portanto é possível afirmar que as variáveis do litoral foram mais severas e agressivas.

Devido a agressividade e a velocidade de reação do processo corrosivo neste material o melhor meio de prevenção contra a corrosão seria o revestimento metálico, onde seria indicado soldar uma chapa de aço inoxidável no corpo de prova, com uma espessura de no mínimo 0,50 mm, com isso, o material estudado não sofreria com a degradação devido as condições climáticas severas.

4.2 MONITORAMENTO DO AÇO GALVANIZADO

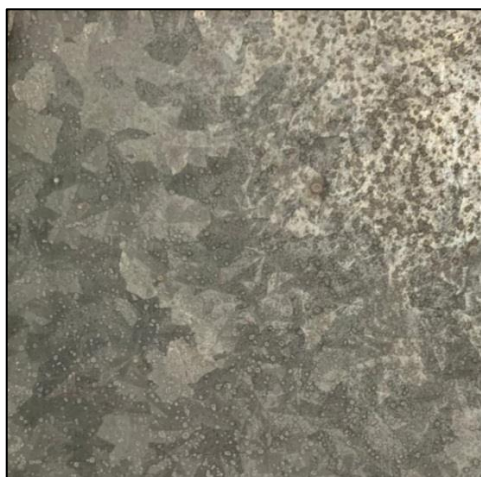
A proteção que a camada de zinco oferece ao aço galvanizado é de grande eficácia para o aumento do tempo de vida do material, com isso foi possível observar durante os nove meses de exposição que neste material teve uma boa resistência a degradação. Abaixo segue fotos comprando a evolução do processo nas duas regiões.

Figura 28 – Monitoramento do material exposto em Lages - SC



Fonte: Autor (2018).

Figura 29 – Monitoramento do material exposto em Içara - SC



Fonte: Autor (2018).

Como falado acima o aço galvanizado mostrou boa resistência a corrosão, onde o material exposto em Lages foi completamente eficaz ao processo corrosivo. Entretanto o corpo de prova exposto em Içara mostrou indícios de degradação devido as condições climáticas de onde se encontrará.

Neste caso devido ao material ter tido uma certa resistência a corrosão seria indicado um meio de prevenção com revestimentos orgânicos, onde poderia ser utilizado graxas, óleos e tintas com o intuito de prevenir a evolução do processo corrosivo.

4.3 MONITORAMENTO DO ALUMÍNIO

O alumínio tem tendência a ter ataques localizados, os chamados pites, quando expostos em zonas costeiras, devido ao seu caráter higroscópico dos íons de cloreto. E foi comprovado que o corpo de prova exposto no litoral sofreu um ataque por pites, enquanto que a chapa de alumínio exposta na serra catarinense obteve uma ótima resistência ao processo corrosivo. Abaixo segue fotos do monitoramento destes materiais.

Figura 30 – Corrosão por pites em chapa de alumínio material exposto em Içara – SC -



Fonte: Autor (2018).

No caso do corpo de prova exposto na região litorânea seria indicado uma proteção catódica, onde o material estudado seria conectado a um material com menor resistência ao processo corrosivo, com isso este material seria denominado de material de sacrifício e assim evitando a degradação do alumínio.

Figura 31 – Monitoramento da chapa de alumínio exposta em Lages – SC



Fonte: Autor (2018).

Como o corpo de prova exposto na região serrana obteve uma ótima resistência ao processo corrosivo, seria indicado um meio de prevenção através de revestimentos orgânicos e inibidores de corrosão que seria limpeza do material e até mesmo um monitoramento do ambiente em que se deseja trabalhar com o material.

4.4 MONITORAMENTO DO COBRE

“Uma vez que o cobre e suas ligas são expostos à atmosfera externa, há formação do óxido de cobre, Cu_2O , cuprita, com coloração castanha, que tem características protetoras, e com o tempo e oxigênio forma-se o CuO , de cor preta. Em seguida, com a presença de umidade e gás carbônico, CO_2 , aparece coloração esverdeada, devido à formação dos carbonatos básicos com as seguintes fórmulas” (GENTIL, 2007 p.214).

Analisando os corpos de prova deste material foi possível observar que no período de exposição, ocorreu um fenômeno químico chamado escurecimento da peça exposta no litoral catarinense enquanto que na região serrana não aconteceu o processo corrosivo.

Figura 32 – Bico de cobre para tocha mig/mag exposto em Lages SC



Fonte: Autor (2018).

Como já dito antes a peça exposta na região serrana não sofreu degradação alguma, portanto seria indicado somente um monitoramento e controle do fenômeno para manter o material com as mesmas propriedades e desempenho especificados por cada fabricante.

Figura 33 – Bico de cobre para tocha mig/mag exposto em Içara SC



Fonte: Autor (2018).

No caso do corpo de prova em que se encontrará na região costeira ocorreu a corrosão por escurecimento do cobre onde o material perde sua cor marrom característica dando sinais da evolução do processo corrosivo, portanto seria aconselhado manter um controle de inibidores de proteção temporário onde após a utilização do material seria indicado uma limpeza da peça além de mantê-lo em um ambiente fechado e longe da ação dos ventos evitando assim o contato com os íons e evaporitos que podem ser carregados pelo vapor da água do mar.

CONCLUSÃO

Com o intuito de compreender o fenômeno da corrosão, analisar, além de relacionar o problema através de um monitoramento mensal da evolução do processo corrosivo do aço carbono, aço galvanizado alumínio e cobre fez-se o presente trabalho de conclusão de curso, que foi motivado sabendo da importância de estudar os processos corrosivos dos materiais metálicos pois é muito comum nos depararmos com a corrosão principalmente quando estes estão expostos aos meios corrosivos que favorecem o fenômeno. O estudo foi realizado através de ensaios de intemperismo natural onde foi considerado as principais variáveis climáticas que influenciam no processo corrosivo.

Durante o tempo de exposição destes materiais foi possível observar que o aço carbono SAE 1020 sofreu uma corrosão denominada corrosão uniforme onde o fenômeno se espalha por toda a peça e tem uma perda uniforme de espessura, portanto sofreu uma degradação mais significativa comparado com os outros materiais analisados, foi possível observar também uma corrosão mais considerável na cidade de Içara SC do que em Lages SC, que foi onde ocorreram os monitoramentos dos processos corrosivos no decorrer do ano de 2018. No caso do alumínio ocorreu a corrosão chamada de corrosão por pites do corpo de prova exposto no litoral catarinense, enquanto que corpo de prova de cobre sofreu um fenômeno químico chamado de escurecimento ocasionado pela reação do cobre no estado de oxidação, e o aço galvanizado apesar de demonstrar uma ótima resistência ao processo corrosivo também sofreu com o fenômeno quando exposto na região litorânea estudada.

Além disso foi possível constatar, que dentre as condições climáticas analisadas a temperatura foi a variável com maior influência no processo corrosivo, entretanto outro fato importante é que a oxidação causada pela água do mar, provoca a corrosão de forma muito mais acelerada nas proximidades do litoral. Onde é possível afirmar que a maresia é a ação oxidante da água do mar em razão das substâncias nela dissolvidas que devido a ação do vento e de outras condições ambientais, as partículas de água do mar se espalham, entrando em contato com objetos metálicos que são corroídos e esse processo é acelerado pela presença dos íons na água do mar e nos evaporitos, com isso os íons fazem uma ponte salina, o que possibilita o fenômeno de oxirredução de forma muito mais acelerada em regiões costeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Haroldo. **Eletroquímica aplicada e corrosão**, Universidade Federal do Paraná setor de tecnologia, Curitiba-PR, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Corrosão atmosférica – Materiais metálicos – Ensaio não-acelerado**, NBR 6209. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Classificação da corrosividade de Atmosferas**, NBR 14643. Rio de Janeiro, 2001.

BRAMBILLA. **Revista brasileira de marketing**, vol 10. São Paulo, 2011

CALLISTER, Willian D. Jr . e RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2010.

CASTAÑO, J. G., BOTERO, C. A., RESTREPO, A. H., AGUDELO, E. A., CORREA, E., ECHEVERRÍA, F.; **Atmospheric corrosion of carbon steel in Colombia**. *Corrosion Science*, v. 52, p. 216-223, 2010.

CASTRO L. M. **Composição e origem dos poluentes particulados numa atmosfera costeira**. **Dissertação de doutoramento**. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, 393 pp., 1997

ENESSUL. **Formas de corrosão e meios corrosivos**. Disponível em <<https://www.enessul.com.br/2017/05/10/formas-de-corrosao-e-meios-corrosivos>> Acesso em: 29 de novembro de 2018.

ENGENHEIRO DE MATERIAIS. Disponível em: < <http://engenheirodemateriais.com.br>>. Acesso em: 08.09.2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Maresia e corrosão dos metais** Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/maresia-corrosao-dos-metais.htm>>. Acesso em 28 de novembro de 2018.

FRAUCHEUS, Santos A **Corrosão e os Agentes Anticorrosivos**. *Rev. Virtual Quim.*, 2014.

GEMELLI, E. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização**. Rio de Janeiro. LTC, 2001.

GENTIL, Vincente. **Corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro. Ed. LTC, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 22 de novembro de 2018.

MANUAL DA QUÍMICA. Disponível em: <<https://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/corrosao-protecao-metais>>. Acesso em 27 de agosto de 2018.

NUNEZ, L.; REGUERA, E.; CORVO, F.; GONZALEZ, E.; VAZQUEZ, C. **Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island**. *Corrosion Science*, v.47, p.461-484, 2005.

PANOSSIAN, Zehbour **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo 1993 2v.(IPT Publicação 2032)

RABALD, Erich **Corrosion Guide**. 2ª Ed. Elsevier Science, 1968.

SHREIR, L.L. **Corrosion of Metals and Alloys**; Vol II. New York. Ed. Wiley, 1978.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo , 1994.

YUANTAI. **Taxa de corrosão e categoria de agressividade atmosférica para materiais metálicos**. São Paulo, 2011.

