

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA- CIAGA**

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA

CORROSÃO NO MEIO MARÍTIMO

Por: Hiedno Santiago Silva

Rio de Janeiro, 2013

Hiedno Santiago Silva

CORROSÃO NO MEIO MARÍTIMO

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como requisito parcial para a conclusão do Curso Aperfeiçoamento (APMA) da Marinha Mercante.

Orientadora: Profa. Esp. Elizabeth Fátima Lourenço Borges

Rio de Janeiro, 2013

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA- CIAGA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR _____

NOTA - _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a meus filhos, Pedro Henrique e Felipe e a minha esposa Ana, que sofreram com minha ausência, nessa caminhada, e aqueles que contribuíram para a minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais essa conquista;

A Ana, minha esposa, pelo apoio incondicional e aos meus filhos, Pedro e Felipe.

A minha família, pela paciência compreendendo minha ausência ao longo desta caminhada;

A minha orientadora Profa. Elizabeth

A minha professora Denise, pela orientação e paciência

Aos demais professores, que também me auxiliaram durante todo esse tempo.

EPÍGRAFE

Não confunda jamais conhecimento com sabedoria. Um o ajuda a ganhar a vida; o outro a construir uma vida.

Sandra Carey

RESUMO

A corrosão é um problema que atinge as mais diversas áreas. Pode ser definida como uma deterioração que ocorre nos materiais metálicos que podem ser causados pelo material exposto a diferentes atmosferas e/ou meios eletrolíticos. Um dos grandes problemas das embarcações é a corrosão que é gerada pela alta maresia. Um dos tipos de corrosão mais agressivos é a corrosão por pites que é causada pelas altas concentrações de cloreto presente na água do mar e a corrosão galvânica. O objetivo geral deste trabalho é estudar os problemas de corrosão em embarcações marítimas. Tem-se como objetivo específico verificar a influência da atmosfera marítima sobre as embarcações, verificar as diferentes formas de corrosão e analisar os custos envolvidos no processo de corrosão. A problematização é: Quais os problemas de corrosão nas embarcações marítimas? A Metodologia deste trabalho é bibliográfica.

Palavras-Chave: Corrosão. Deterioração. Marítima.

ABSTRACT

Corrosion is a problem that affects many different areas. Can be defined as the deterioration that occurs in metallic materials which may be caused by exposure to various atmospheres and \ material or electrolytic means. A major problem is the corrosion of the vessels which is generated by high salt spray. One type of aggressive corrosion is pitting corrosion which is caused by high concentrations of chloride present in sea water and galvanic corrosion. The general objective of this work is to study the corrosion problems in marine vessels. Has the specific objective to verify the influence of the maritime atmosphere on the boat, check the different forms of corrosion and analyze the costs involved in the corrosion process. The questioning is: What are the problems of corrosion in marine vessels? The methodology of this study is literature.

Keywords: Corrosion. Deterioration. Maritime.

ÍNDICE DAS FIGURAS

- 1- (Figura-1) Inverso da Metalurgia; Fonte: MOREIRA, Ana Paula (Universidade Federal do Rio de Janeiro.- UFRJ - Gestão Tecnológica do Monitoramento da Corrosão Interna de Dutos. disponível em tpqb.eq.ufrj.br/.../monitoramento-da-corrosao-interna-de-dutos.pdf) Acesso em: 9-11-2013
- 2- (Figura-2) Navio com um processo de corrosão acelerado
Fonte:<http://www.brasilecola.com/quimica/maresia-corrosao-dos-metais.htm>
Acesso em: 17-11-2013
- 3- (Figura-3) Influencia da maresia sobre as embarcações; Fonte:
<http://www.brasilecola.com/quimica/maresia-corrosao-dos-metais.htm>. Acesso em: 17-11-2013
- 4 - (Figura-4) Casco de navio corroído
Fonte:<http://www.brasilecola.com/quimica/protecao-contra-corrosao-ferro.htm>.
Acesso em: 17-11-2013
- 5- (Figura-5) Ciclo Metalurgia-Corrosão (Fonte: Evangelista Livro Pintura Industrial, p 4, 1984)
- 6- (Figura-6) Morfologia da corrosão (Fonte GENTIL, 2011). Acesso em: 17 nov. 2013
- 7- (Figura 7) Gráfico em 3D da variação da espessura da parede de uma estrutura contendo corrosão localizada pite (Gráfico cedido pelo CENPES).
- 8- (Figura 8) Formação de **Azinhavre**

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito de Corrosão

2.2 Corrosão no meio Marítimo

2.3 Materiais usados

2.4 Anodo de Sacrifício

2.5 Corrosão em Metais

2.6 Corrosão por Pite

3. Metodologia

4. Conclusão

Referências

1. INTRODUÇÃO

O termo corrosão, derivado do verbo latino *corrodere*, que significa *morder* ou *roer*, é um processo natural e resulta da inerente tendência dos metais reverterem para sua forma mais estável, normalmente óxidos. A maioria dos metais é encontrada na natureza na forma de compostos estáveis denominados minérios.

A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. Durante o processo de extração e refino, é adicionada uma quantidade de energia ao minério para extrair o metal nele contido. É esta energia que possibilita o aparecimento de forças capazes de reverter o metal a sua forma primitiva de composto mais estável.

Ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações é necessário que estes resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentar propriedades mecânicas suficientes e características de fabricação adequadas.

A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou as ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmicas ou concreto. A ênfase aqui descrita será sobre a corrosão dos materiais metálicos. Esta corrosão é denominada corrosão metálica. Dependendo do tipo de ação do meio corrosivo sobre o material, os processos corrosivos podem ser classificados em dois grandes grupos, abrangendo todos os casos de deterioração por corrosão: químico e eletroquímico.

Os problemas de corrosão são frequentes e ocorrem nas mais variadas atividades, acarretando perdas econômicas diretas e indiretas, reduzindo a segurança em alguns setores, causando ainda uma infinidade de problemas no dia-a-dia dos transportes, telecomunicações, petroquímica, medicina, indústria naval, entre outros.

A justificativa para o desenvolvimento deste tema está baseado em um dos maiores problemas que envolve as embarcações que é a corrosão marítima. Os

custos envolvidos com a corrosão são elevados. Pretende-se ter uma visão geral e um embasamento teórico sobre o tema e os problemas que envolvem a corrosão.

O objetivo geral deste trabalho é estudar os problemas de corrosão em embarcações marítimas. Tem-se como objetivos específicos verificar a influência da atmosfera marítima sobre as embarcações, verificar as diferentes formas de corrosão e analisar os custos envolvidos no processo de corrosão. A problematização é: Quais os problemas de corrosão nas embarcações marítimas? A Metodologia deste trabalho é bibliográfica.

Este trabalho está organizado em quatro seções: Na primeira, a Introdução. Na segunda seção o referencial teórico que apresenta os tópicos que aborda sobre corrosão, tipos, corrosão marítima. Na terceira seção, a Metodologia da pesquisa abordando a Tipologia da pesquisa. Na quarta seção apresenta-se a conclusão e no final as referências.

2- Referencial Teórico

2.1 - Corrosão

Sob um aspecto mais difundido e aceito universalmente, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais (Gentil, 2011).

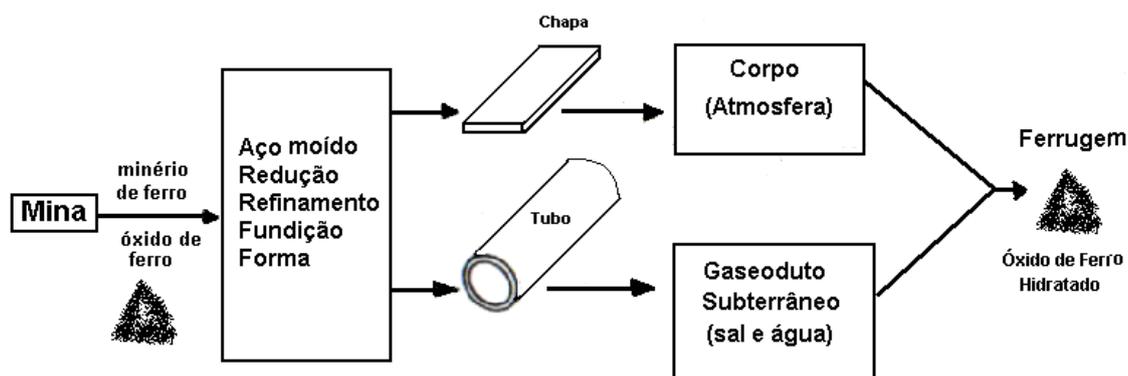
Todos os metais na natureza, exceto ouro, platina, prata, mercúrio e cobre, existem no estado combinado, ou seja, na forma de minerais ou minério, que é termodinamicamente a forma mais estável. A transformação do minério para um metal é realizada por processos que envolvem a introdução de energia, usualmente na forma de calor. Esta energia é armazenada no metal e é perdida ou liberada quando este é corroído. A quantidade de energia requerida para converter minérios em metais varia de metal para metal. Ela é relativamente alta para metais como magnésio e alumínio e baixa para metais como ouro e prata.

A corrosão pode ser definida de muitas outras maneiras: (1) destruição ou deterioração do material por causa da reação com o ambiente; (2) destruição do material resultante diretamente de fatores mecânicos; (3) inverso da metalurgia extrativista. As definições 1 e 2 são preferidas, pois consideramos os materiais cerâmicos, plásticos, borracha como materiais não metálicos. Por exemplo, a deterioração de pinturas e borrachas devido à luz do sol, fatores químicos ou ataque de um metal por outro metal fundido (corrosão de metal líquido) são considerados meios corrosivos. A figura 4 ilustra a definição 3. As etapas da metalurgia extrativa é primeiramente a extração do metal do minério e em seguida o seu refinamento. Muitos minérios de ferro contêm óxido de ferro, que é uma ferrugem provocada no aço devido à água e ao oxigênio, resultando em óxido de ferro hidratado (FONTANA, 1967).

Com isso, pode-se concluir que a maioria dos metais encontrados na natureza apresenta-se sob a forma de minerais (minérios), óxidos, sulfetos, nitratos, etc. Outra definição para o que seja corrosão é: a corrosão é o processo inverso da metalurgia extrativa, em que o metal retorna ao seu estado original, ou seja, aquele estado

presente no minério do qual o metal foi extraído conforme apresentado na figura 1 (FONTANA, 1967).

Figura 1 - Inverso da Metalurgia



Fonte: Fontana, 1967.

Quando os metais sofrem corrosão em um eletrólito, que pode ser, por exemplo, água fresca, água do mar ou um ácido, há ocorrência simultânea de reações anódicas e catódicas. A reação anódica sempre envolve a dissolução do metal:



Já para a reação catódica, por outro lado, existem mais possibilidades, dependendo da natureza do eletrólito.

Nos materiais metálicos ocorrem reações de oxirredução (reações redox). São reações em que há variação do número de oxidação e, em algumas casos, perda e ganho de elétrons. O fenômeno de oxirredução é simultâneo, isto é, sempre que há oxidação (perda de elétrons), há também redução (ganho de elétrons) (Gentil, 2011). Por exemplo, o ferro, quando é atacado pelo ácido clorídrico, desprende hidrogênio segundo a equação química:



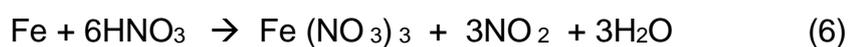
Esta equação é de oxirredução, pois



E a soma dessas duas equações dará a equação total de oxirredução



Esta equação representa a equação do ataque de ferro metálico por ácidos não oxidantes, isto é, aqueles que não têm caráter oxidante na sua parte aniônica. No caso de ácidos oxidantes, como nítrico, tem-se



As reações de oxirredução ocorrem, geralmente, por intermédio da transferência de elétrons.

A figura 2 mostra um navio com um processo corrosivo acelerado



Figura 2 – Navio com um processo de corrosão acelerado

2.2 - CORROSÃO NO MEIO MARÍTIMO

A maresia é um fenômeno que ocorre em cidades litorâneas que acelera o processo de corrosão de objetos metálicos em razão da presença de íons na água do mar conforme apresentado a figura 3. A maresia contribui significativamente para o processo de corrosão de estruturas metálicas.



Figura 3 – Influencia da maresia sobre as embarcações

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.

2.3- Principais Materiais Utilizados

Conforme Fedele (2011), na indústria naval moderna, em princípio, os materiais especiais utilizados na indústria naval são os aços inoxidáveis, as ligas de níquel e as ligas de cobre.

Os aços inoxidáveis são largamente empregados na construção de tanques para cargueiros químicos, petroleiros, embarcações para o transporte de produtos corrosivos, gases liquefeitos e tubulações de interligação entre tanques de armazenamento.

As ligas de níquel destinam-se às aplicações que necessitam de resistência à corrosão em altas temperaturas ou elevados valores de tenacidade em temperaturas reduzidas.

Já as ligas de cobre são recomendadas para componentes que devam apresentar boas propriedades mecânicas, elevada resistência à corrosão e ausência de magnetismo, evitando interferências nos controles de direção do navio. “

Uma estrutura como uma grande embarcação oferece uma variada gama de condições de exposição, originando situações de proteção anticorrosiva complexas e diversas, tais como o casco, o convés, as superestruturas, os tanques de combustível e de lastro, entre outras.

A embarcação apresenta diferentes partes com condições operacionais altamente específicas, desde o casco do navio (permanentemente imerso em água), à zona de linha de água (sujeita a condições alternadas de imersão), à zona de salpicos (acima da linha de água) e às “obras mortas” (as quais se encontram expostas à atmosfera).

A figura 4 apresenta um casco de navio com alto nível de corrosão exposto a maresia.



Figura 4 - Casco de navio corroído

2.4 - Anodo de Sacrifício

Essa técnica é também denominada de galvanoplastia em homenagem ao cientista Luigi Galvani (1737-1798).

Nela aplica-se um revestimento metálico a uma peça, colocando-a como cátodo (polo negativo) em um circuito de eletrólise.

Protege-se o ferro utilizando um metal que tem o potencial de oxidação maior que o dele, como o magnésio e o zinco. Quando o metal usado é o zinco, chama-se galvanização.

O metal usado é denominado “de sacrifício” exatamente porque é ele que será oxidado no lugar do ferro. Esse metal de sacrifício perde elétrons para o ferro mantendo-o protegido mesmo se a superfície for arranhada e o ferro ficar exposto ao ar.

Não é o que ocorre com o estanho, que só impede que o ferro entre em contato com o ar. Uma vez rompida essa camada de proteção do estanho, o ferro enferrujará rapidamente.

Na galvanoplastia consegue-se, além da proteção, o melhoramento da peça, pois ela fica com aparência semelhante à de metais mais cobiçados como ouro e prata. São exemplos de galvanoplastia a cromeação, a prateação e a douração.

O metal de sacrifício deve ser trocado de tempos em tempos por causa do desgaste.

Um processo semelhante é o de ligar placas de magnésio ou zinco às de ferro. Isso é feito para proteger os cascos de navios e as estacas das plataformas de petróleo.

Para que o casco do navio não fique enferrujado como o da figura 1, colocam-se blocos de magnésio metálico. O magnésio em contato com a água do mar sofre oxidação e liberta elétrons que protegem o aço.

2.5 - CORROSÃO EM METAIS

Segundo Souza (2012), a corrosão em metais pode ser definida como a deterioração do material pela ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos, causando alterações prejudiciais indesejáveis no metal, tais como, desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para uso.

A maioria dos metais é encontrada na natureza sob a forma de compostos (óxidos e sulfetos metálicos) relativamente estáveis, sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo de reação dos metais com os líquidos e gases do meio ambiente em que são colocados.

Os metais, quando submetidos a um ambiente corrosivo, normalmente reagem como substância redutora, cedendo elétrons que são recebidos pela substância oxidante, existente no meio corrosivo. A equação iônica geral de oxidação dos metais pode ser escrita como:



onde ME é um metal qualquer que age como redutor e ne é o número de elétrons cedidos pelo metal quando se transforma em íon. As formas segundo as quais a corrosão pode manifestar-se são definidas principalmente pela aparência da superfície corroída, ou seja, sua morfologia. Sob este aspecto elas são classificadas como: corrosão uniforme, corrosão por placas, corrosão alveolar, corrosão puntiforme ou por pite, corrosão intergranular ou intercrystalina, corrosão transgranular ou transcristalina, corrosão por esfoliação, corrosão devido ao empolamento pelo hidrogênio, corrosão galvânica e corrosão eletrolítica.

Os casos de corrosão associados à morfologia são devidos somente à ação do meio corrosivo, onde se observa acentuada perda de massa do material corroído.

Entretanto, se houver uma associação do meio corrosivo com solicitações mecânicas, o material pode sofrer um processo corrosivo acelerado, mesmo sem perda acentuada de massa, podendo ocorrer fraturas que, no caso de dutos, levariam a parada de operação do duto deteriorado. Dentre os casos de corrosão associada com solicitações mecânicas temos a corrosão sob tensão e a corrosão sob fadiga.

A corrosão sob tensão acontece quando um material sofre a ação combinada de tensões (residuais ou aplicadas) e meios corrosivos. Quando se observa a fratura do material (ver Figura 4), ela é chamada de corrosão fraturante sob tensão (stress corrosion cracking). A fratura ocorre em um tempo mais curto do que a soma das ações isoladas da tensão e da corrosão.

Uma característica importante da corrosão sob tensão é que não se observa praticamente perda de massa do material. Diferente da corrosão sob fadiga, onde as solicitações mecânicas são cíclicas ou alternadas, na corrosão sob tensão observam-se solicitações estáticas.

PRINCIPAIS MEIOS CORROSIVOS

Todos esses meios podem ter características ácidas, básicas ou neutra e podem ser areadas.

- Atmosfera (poeira, poluição, umidade, gases: CO, NO₂, H₂S, CO₂, SO₂, ...)
- Água (bactérias dispersas: corrosão microbiológica; chuva ácida; etc.)
- Solo (acidez, porosidade)

Um determinado meio pode ser extremamente agressivo, sob o ponto de vista da corrosão, para um determinado material e inofensivo para outro.



Figura 5: Ciclo Metalurgia-Corrosão

- Corrosão Eletroquímica
- Corrosão Química.

Os processos de corrosão eletroquímica são mais freqüentes na natureza e se caracterizam basicamente por:

- Necessariamente na presença de água no estado líquido;
- Temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, sendo a grande maioria na temperatura ambiente;
- Formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica.

Em face da necessidade do eletrólito conter água líquida, a corrosão eletroquímica é também denominada corrosão em meio aquoso.

Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio, O₂, S, H₂S, CO₂ entre outros, produzindo compostos semelhantes aos encontrados na natureza, dos quais foram extraídos. Conclui-se, portanto, que nestes casos a corrosão corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos, (vide figura 6)



Figura 6: Morfologia da corrosão (GENTIL, 2011)

2.6 - Corrosão por Pite

É um tipo de corrosão extremamente localizada que se processa em pontos ou em pequenas áreas da superfície metálica produzindo pites. São cavidades que apresentam o fundo em forma granulosa e profundidade maior que seu diâmetro. É uma das formas mais prejudiciais de corrosão, pois, apesar de afetar pequenas partes da superfície metálica, pode causar uma perda rápida na espessura do material, originando pontos de concentrações de tensões com início de fratura, ocasionando uma diminuição na resistência mecânica do material. É freqüentemente difícil de se detectarem os pites devido aos seus pequenos tamanhos e por estarem muitas vezes cobertos com produtos de corrosão. É também difícil de medir quantitativamente e comparar a extensão do pite por causa da variação da profundidade e do número de pites que podem ocorrer sob condições idênticas.

As cavidades produzidas pelo pite crescem geralmente por baixo de superfícies horizontais (seguindo a direção transversal do material), originando uma forma de ataque por aeração diferencial. Quando isso ocorre, outras regiões estão imunes ao

ataque. Os pites requerem um longo período de tempo para se manifestarem, dependendo tanto do metal quanto do meio corrosivo. Porém, quando iniciado o processo, a penetração se manifesta com velocidade crescente. A propagação se dá em forma de buracos, de fundo liso e aspecto brilhante.

Os pites podem ser iniciados por um número de superfícies descontínuas, esfoliações nas camadas e por depósitos de escórias, crosta e poeira. A forma de pites é muito característica, pois a profundidade é muito maior que o diâmetro da cavidade, que é da ordem de poucos milímetros quadrados. A profundidade é variável, difícil de se medir quantitativamente a extensão da área corroída e de se estudá-la.

A presença de elementos de liga melhora à resistência a corrosão por pites. O molibdênio aumenta a resistência à corrosão por pite, mesmo em concentrações de 2%. O acabamento da superfície tem efeito marcante sobre a corrosão por pite. As rugosidades e defeitos favorecem este tipo de ataque.

Dependendo da metalurgia da liga e do envolvimento químico, os pites podem ser rasos, profundos e elípticos dentro de uma superfície. As superfícies dos pites são frequentemente fluxos de depósitos de produtos de corrosão que formam precipitados.

2.6.1 - Condições que Causam os Pites

A formação de pites pode ocorrer em sistemas metal/meio aparentemente livres de heterogeneidades, mas que contenham ânions agressivos, como cloreto e íons contendo cloreto, como os hipocloritos (encontrados em alvejantes). Quando aumenta a concentração de cloreto na solução, aumenta significativamente a tendência a pites. Outros íons como os halogênios e brometos podem também causar pites, mas soluções de fluoreto e iodeto apresentam pequena tendência a pites. Os íons metálicos cúprico, férrico e mercúrio em soluções de cloreto são particularmente agressivos. A formação de pites nas regiões de ataque são determinadas pelas características microscópicas ou submicroscópicas sobre a película passiva que recobre a superfície metálica.

Os fatores que mais influenciam esse tipo de corrosão são: a presença de ânions agressivos, a concentração, o acabamento da superfície e a composição da liga. Em relação à composição química, o molibdênio aumenta a resistência à formação de pite, ao passo que o silício diminui esta resistência.

2.6.2 - Avaliação da Corrosão por Pite

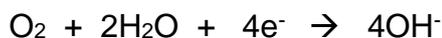
Na tentativa de compreender os fatores que controlam a iniciação de pites, várias teorias foram propostas. Essas teorias incluem teorias cinéticas que explicam a quebra da passividade em termos de competição entre a absorção de íons cloretos e oxigênio em solução e das teorias termodinâmicas que consideram o potencial quando o íon cloreto está em equilíbrio com o filme de óxido.

Quanto ao crescimento e taxa de controle de difusão e sua propagação, os pites podem ser classificados como metaestáveis e estáveis. Nos pites metaestáveis ocorre a dissolução do metal e a não-propagação, do modo que repassivam em função das condições do meio. Nos pites estáveis, a direção de crescimento é longa, e ocorre uma barreira de difusão que é fornecida pela profundidade do próprio pite, possibilitando um processo autocatalítico, isto é, favorecendo condições para aumentar o ataque ao metal.

A propagação de pites envolve a dissolução do metal e um alto grau de acidez no fundo do pite por hidrólise de íons de metal dissolvido. A reação de dissolução anódica do metal no fundo do pite é a seguinte:



e está balanceada pela reação catódica na superfície adjacente:



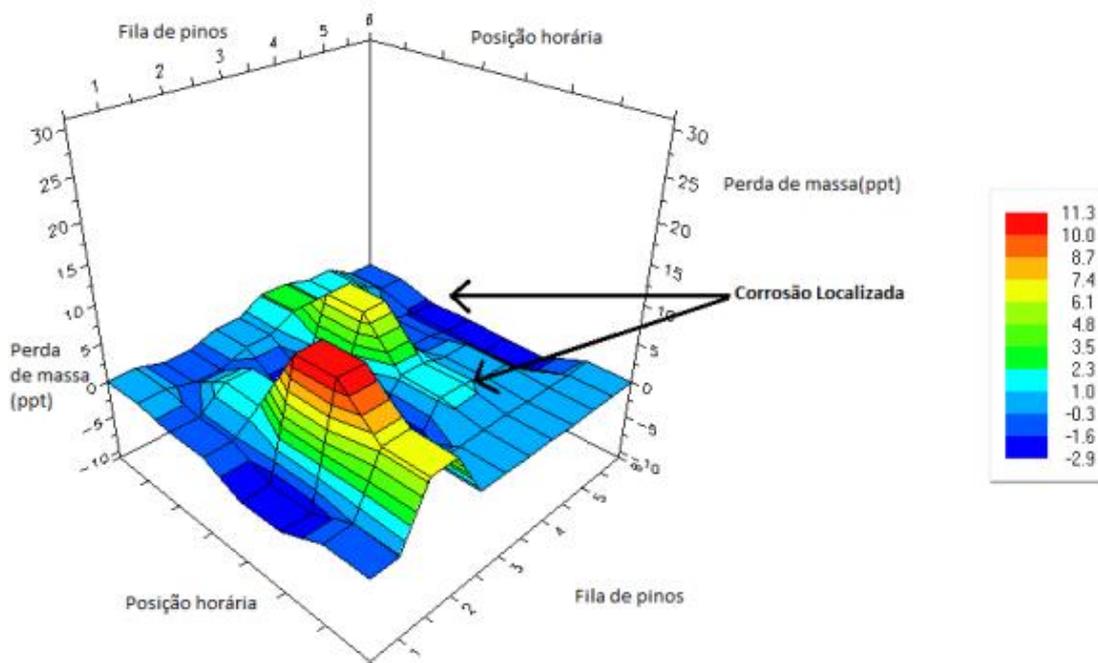
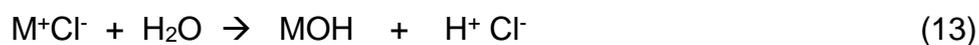


Figura 7 Gráfico em 3D da variação da espessura da parede de uma estrutura contendo corrosão localizada (píte) na seção monitorada. (Gráfico cedido pelo CENPES).

O aumento na concentração de M^+ dentro do píte resulta na migração de íons cloreto (Cl^-) para manter a neutralidade. O cloreto formado no metal, M^+Cl^- , é hidrolizado pela água por hidróxido e ácido livre:



A geração deste ácido faz com que ocorra uma diminuição do pH dentro do píte (pH entre 1,0 e 1,5), o que favorece a dissolução do metal.

2.6.3 - Corrosão por Píte nos Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são mais susceptíveis a serem prejudicados pela corrosão por pite do que qualquer outro grupo de metais ou ligas. Como resultado, numerosos estudos têm sido realizados para melhorar a resistência aos pites nos aços inoxidáveis. Os resultados estão no quadro 1.

Quadro 1 - Efeito dos elementos na resistência à corrosão por pites nos aços inoxidáveis.

Elemento	Efeito da resistência a pites
Cromo	Aumenta
Níquel	Aumenta
Molibdênio	Aumenta
Silício	Diminui; aumenta quando presente com o molibdênio
Titânio e Nióbio	Diminui a resistência em FeCl ₃ ; outros efeitos médios
Enxofre e Selênio	Diminui
Carbono	Diminui, especialmente em condição sensibilizada
Nitrogênio	Aumenta

As propriedades dos aços inoxidáveis tipo 304 e 316 em temperaturas na faixa de 950°F a 1.450°F diminuem a resistência a pites. Os aços inoxidáveis austeníticos

exibem uma maior resistência ao pite quando a solução temperada está por volta de 1.800°F.

Muitos trabalhos a frio aumentam o ataque a pites no aço inoxidável 18-8 em cloreto férrico. O pite de borda é usualmente observado em produtos de aços forjados.

O acabamento superficial tem freqüentemente um efeito na resistência do pite. Os pites e a corrosão localizada são menos prováveis de ocorrerem na superfície polida do que em superfície atacada ou de base. Geralmente, os pites que se formam na superfície polida são mais largos e penetram mais rapidamente do que aqueles que se formam nas superfícies rugosas.

2.6.4 - Métodos de Prevenção

Os métodos de prevenção por pites podem ser controlados variando-se as condições da solução. Por ser mais provável a formação de pites em soluções estagnadas, a agitação da solução inibe a formação de pites. Também mantendo-se o potencial do metal abaixo do potencial de formação de pites, estes são inibidos. A formação de pites pode ser detida pela proteção catódica e também pelo uso de inibidores químicos, que alteram as reações de eletrodos de célula de ação local e removem a força motriz. O revestimento da superfície metálica com uma camada de outro metal mais anódico também previne a penetração de pites, como, por exemplo, o revestimento de zinco sobre aço.

Os pites podem também, muitas vezes, ser prevenidos e reduzidos pela presença de hidróxido, cromato e sais de silicatos. Entretanto, estas substâncias tendem a acelerar o pite quando presentes em pequenas quantidades.

Alguns materiais são mais resistentes ao pite do que outros. Por exemplo, a adição de 2% de molibdênio nos aços tipo 304 e 316 resulta em um aumento na resistência ao pite. A adição do molibdênio resulta aparentemente em uma superfície mais protetora e mais estável. Estes dois materiais portam-se diferentemente um do outro, pois um é considerado pouco apropriado para a água do mar, enquanto o outro, às vezes, é recomendado. Os metais e ligas podem ser utilizados como um guia

qualitativo de materiais apropriados. Entretanto, os testes deverão serem conduzidos antes de a seleção final ser feita.

A adição de inibidores, às vezes, é útil, mas este caminho pode ser um procedimento perigoso, a menos que o ataque seja parado completamente. Se não, a intensidade do pite pode aumentar.

3. Metodologia da Pesquisa

Segundo Maia (2011, s.p) “Metodologia é o conjunto de métodos e técnicas aplicadas para um determinado fim. É o caminho percorrido, a maneira utilizada para atingir o objetivo.” Portanto a metodologia é um conjunto de métodos, estratégias e técnicas que norteará o trabalho científico em questão. Foi o caminho utilizado para que se chegasse aos resultados a serem analisados.

Entende-se por metodologia os métodos seguidos para direcionar um trabalho ou etapas de um processo a ser executado. A mesma tem a finalidade de analisar os meios utilizados e que são indispensáveis para a pesquisa ou trabalho a ser executado e ao mesmo tempo avaliar a utilização destas técnicas para que seu efeito seja satisfatório.

Metodologia é a explicação detalhada da ação desenvolvida e do método utilizado em um trabalho de pesquisa. Ela explica, também, o tipo de pesquisa e todos os instrumentos utilizados para atingir o fim.

De acordo com Cervo, Bervian e da Silva (2007, p. 27) “método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim ou um resultado desejado”.

Em relação ao método científico, os mesmos autores classificam como o conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade (CERVO; BERVIAN E DA SILVA, 2007).

Realizar uma pesquisa é querer se apropriar de informações ainda obscuras, é tomar conhecimento de algo que está sendo investigado, é defender uma ideia buscando comprovação para os resultados que deverão ser fundamentados em bibliografias, conforme o assunto em estudo.

Segundo Rodrigues (2007, s.p) “Pesquisa científica é a realização concreta de uma investigação planejada, desenvolvida e redigida de acordo com as normas da metodologia consagradas pela ciência.”

3.1- Tipologia da Pesquisa

A tipologia da Pesquisa deste trabalho é bibliográfica.

De acordo com Lima (2004, p.38) “a pesquisa bibliográfica é a atividade de localização e consulta de fontes diversas de informações escritas, para coletar dados gerais ou específicos a respeito de um tema”. E essas fontes diversas são materiais já elaborados, constituídos principalmente por livros e artigos científicos.

Segundo Gil (1999, p. 65), “A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente”. Para Gil (1999) existem pesquisas que são exclusivamente bibliográficas, bem como muitas pesquisas existentes que se desenvolvem a partir de análises do conteúdo.

Segundo Gil (1999, p.65), “A pesquisa bibliográfica se desenvolve a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.” As pesquisas bibliográficas tem grande contribuição com a pesquisa exploratória que utiliza a mesma para chegar às conclusões do estudo. De acordo com Gil (1999), a grande vantagem da pesquisa bibliográfica está no fato de que ela permite ao pesquisador obter uma fonte diversa e rica de fenômenos amplos para a sua pesquisa. Ela consegue fazer com que o pesquisador se aproxime de fatos, acontecimentos, dados bem distantes pela riqueza de acervo bibliográfico que existe.

4.0 - Ponto de Vista Econômico

Do ponto de vista econômico, os prejuízos causados atingem custos extremamente altos, resultando em consideráveis desperdícios de investimento; isto sem falar dos acidentes e perdas de vidas humanas provocados por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos. Estima-se que uma parcela superior a 30% do aço produzido no mundo seja usada para reposição de peças e partes de equipamentos e instalações deterioradas pela corrosão (Nunes e Lobo, 1990). Cientificamente, o termo corrosão tem sido empregado para designar o processo de destruição total, parcial, superficial ou estrutural dos materiais por um ataque eletroquímico, químico ou eletrolítico. Um quinto da produção mundial de aço é destinada a repor perdas causadas pela corrosão. E essa é apenas a ponta de um iceberg que representa o impacto desse problema na economia. Desde 1949, os EUA estudam esse problema por uma ótica econômica. Mas foi apenas com o início do movimento ecológico, nos anos 1970, que essa começou a ser uma preocupação mundial.

Em 2001, a CC Technologies Laboratories, a Nace International, conhecida como a Sociedade da Corrosão, e o Federal Highway (FHWA), que administra as rodovias norte-americanas, conduziram um estudo mais completo sobre o impacto da corrosão na economia dos EUA. A conclusão só reforçou a suspeita de que a corrosão é um dos maiores problemas enfrentados pela indústria. Só naquele país os gastos associados à corrosão consumiam, há dez anos, cerca de 3% PIB, algo próximo de US\$ 400 bilhões, em valores atuais. Até mesmo um dos maiores pontos turísticos de Nova Iorque, a estátua da Liberdade, corre risco por causa da corrosão. Ela é feita de uma estrutura de ferro sobre placas de cobre. Visto que está em um ambiente marinho, o cobre entra em contato com o ar úmido, levando à formação de **azinhavre** (uma mistura tóxica de hidróxido de cobre I, hidróxido de cobre II, carbonato de cobre I e carbonato de cobre II), que, com o tempo, vai recobrir a estátua (camada verde). No entanto, o ferro é mais reativo que o cobre, assim, ele reage com o azinhavre formado, deslocando os cátions de cobre do azinhavre. Isso leva à corrosão e abala a estrutura da estátua.



Figura 8 - Formação de Azinhavre

De uma forma geral, os estudos em diferentes países têm chegado a conclusões parecidas, estimando custos variáveis entre 1% e 5% do PIB. No Brasil, os gastos podem chegar a cerca de US\$ 10 bilhões, grande parte na indústria petrolífera. O Cepel (Centro de Pesquisa da Eletrobrás), em Fortaleza, indicou que o tempo de vida útil de um poste é de menos de 5 anos em cidades litorâneas, sendo que em outros lugares pode chegar a 30 anos. Isso sem falar na constante manutenção que deve ser feita em transformadores e outros equipamentos elétricos.

Estima-se que cerca de 20% do ferro produzido todo ano seja para repor os corroídos.

Quando não são causados por falha humana, os desastres ambientais que são os derramamentos de petróleo nos oceanos são, fatalmente, obra de estruturas comprometidas pela corrosão.

Além do componente ambiental, as companhias de petróleo podem ter grandes prejuízos financeiros causados pela corrosão. A British Petroleum, por exemplo, no

primeiro trimestre do ano passado apresentou queda de 17% no seu lucro, na comparação com o primeiro trimestre de 2006, por causa da suspensão da exploração no campo de Prudhoe, no Alasca, após derramamentos ocorridos devido a problemas de corrosão.

Com a intensificação dos estudos sobre o assunto, a cada ano têm surgido novas técnicas para prever e evitar seus danos. Cientistas da Universidade do Arizona concluíram uma pesquisa que procura criar métodos para dar maior precisão e rapidez às estimativas sobre os riscos da corrosão em certos tipos de ligas metálicas.

Assim é possível desenvolver técnicas para se prever por quanto tempo e sob quais condições essas ligas metálicas resistirão. Essas técnicas permitem a criação de uma espécie de "prazo de validade" das estruturas, um período além do qual elas deverão ser avaliadas com muito maior cuidado ou, no caso de operações muito críticas, como em usinas nucleares, simplesmente substituídas.

Hoje são usados diversos métodos para prevenir a corrosão, quase todos baseados em ações práticas da engenharia, como o controle do Ph das estruturas, a utilização de revestimentos protetores de materiais e o isolamento elétrico. Já existe tecnologia para fazer esse trabalho de maneira mais integrada e eficiente. E o Brasil, na dianteira da exploração de petróleo no mar, é pioneiro nessa tecnologia, tendo desenvolvido, no âmbito da Petrobras, um software que não existe em nenhum outro lugar do mundo.

Esse software é capaz de mapear plataformas e navios em 4D e de se antecipar à corrosão, prevendo a necessidade de reparos. E, como em tudo que envolve tecnologia, a tendência é que seu uso em larga escala transcenda a aplicação original para outros setores fortemente afetados pela corrosão, como parques industriais, e se traduza na diminuição dos custos em geral associados ao problema.

Considerações Finais

O estudo teórico fundamentou o conhecimento para uma análise detalhada, oferecendo conceitos fundamentais estabelecidos para a mesma. Nesta conclusão são comprovadas o objetivo geral e específicos levantados, objetivando a confirmação dos mesmos.

O objetivo geral desse trabalho foi atendido, pois, se realizou uma análise sobre os problemas de corrosão em embarcações marítimas.

O primeiro objetivo específico foi verificar a influência da atmosfera marítima sobre as embarcações. Este objetivo foi atingido por meio do estudo bibliográfico.

O segundo objetivo específico procurou verificar as diferentes formas de corrosão. Pôde-se constatar que o segundo objetivo específico também foi atendido, pois existem diferentes formas de corrosão que podem influenciar na deteriorização dos materiais e influenciar de forma negativa nas embarcações. A corrosão por pites é um tipo de corrosão localizada que ocorre em meio de cloreto.

O terceiro objetivo específico procurou analisar os custos envolvidos no processo de corrosão. Este objetivo também foi atingido pois os custos envolvidos com a corrosão são elevados e que muitas vezes envolvem perdas humanas que não houver uma manutenção preventiva.

Finalmente, considerando as perspectivas desse trabalho pode-se concluir que a pesquisa realizada alcançaram os objetivos e resultados pretendidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASILESCOLA. **Proteção contra corrosão.** Disponível em:<
<http://www.brasilescola.com/quimica/protecao-contra-corrosao-ferro.htm>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; da SILVA, Roberto. **Metodologia Científica.** 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

FEDELE, Ricardo. Eng. Disponível em \ <http://www.engsegtrabalho.com.br/> Acesso em: [content/uploads/2013/04/soldainsdustrianavalmoderna.pdf](http://www.engsegtrabalho.com.br/content/uploads/2013/04/soldainsdustrianavalmoderna.pdf) acesso em 17 nov. 2013

FOGAÇA, Jennifer- Maresia e Corrosão dos Metais- Disponível em <http://www.brasilescola.com/quimica/maresia-corrosao-dos-metais.htm>. Acesso em 9 dez 2013.

FONTANA, M. G.; GREENE, N. D. **Corrosion Engineering.** New York: McGraw Hill Book Company, Inc, 1967.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 1999.

LIMA, Manolita Correia. **Monografia: a engenharia da produção acadêmica –** São Paulo: Saraiva, 2004.

MAIA, Naurelita - **O que é metodologia? – 2001.** Disponível em <http://educadoresdesucesso.blogspot.com.br>. Acesso em 18 nov. 2013.

PIMENTA, G. de Souza. CONCEITO DE CORROSÃO. Disponível em: http://www.iope.com.br/3i_corrosao.htm/. Acesso em: 22 nov. 2013.

RODRIGUES, William Costa - **Metodologia Científica** - FAETEC/IST - Paracambi – 2007 Disponível em: <http://professor.ucg.br/siteDocente/admin> - Acesso em 18 nov. 2013.

SOUZA, Marcelo Igor Lourenço. FALHA INCREMENTAL DE DUTOS COM DEFEITO DE CORROSÃO EM CARREGAMENTO CÍCLICO. Disponível em <http://www.oceanic.ufrj.br/intranet/teses/2012>. Acesso em:17 nov. 2013.

