

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**  
**(APMA 02.2016)**

**LUCAS XIMENES PAIVA**

**CORROSÃO E MÉTODOS ANTICORROSIVOS EM EMBARCAÇÕES**

**RIO DE JANEIRO**  
**2016**

**LUCAS XIMENES PAIVA**

**CORROSÃO E MÉTODOS ANTICORROSIVOS EM EMBARCAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Paulo Roberto Batista Pinto.

**RIO DE JANEIRO**

2016

LUCAS XIMENES PAIVA

**CORROSÃO E MÉTODOS ANTICORROSIVOS EM EMBARCAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Paulo Roberto Batista Pinto.

Mestre em engenharia elétrica.

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico esse trabalho a minha professora de eletroquímica Marislene Brito, pois seu empenho no ensino me motivou a escrever sobre o assunto deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais por sempre confiarem na minha capacidade e investirem na minha formação, e a minha esposa e filho por me apoiarem em todos os momentos.



Escolhe um trabalho de que gostes, e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida.

(CONFÚCIO)

## **RESUMO**

Este trabalho aborda a corrosão em navios e as técnicas anticorrosivas mais utilizadas na indústria naval. No segundo capítulo, é feito um estudo sobre a corrosão em metais, sendo listados os principais tipos, controle e prevenção. O capítulo quatro trata dos processos corrosivos mais específicos da área naval, como a cavitação. O sucessor aborda as principais técnicas anticorrosivas utilizadas nas embarcações, como a proteção catódica e pintura industrial. Nele é encontradas explicações relativas as duas principais formas de proteção catódica: por anodos de sacrifício e por corrente impressa. O quinto capítulo encerra o trabalho com as considerações finais sobre as soluções atuais do problema de corrosão em navios.

Palavras-chave: Corrosão. Pintura industrial. Proteção catódica. Cavitação.

## **ABSTRACT**

This monograph deals with the corrosion on ships and anticorrosion techniques commonly used in the marine industry. In the second chapter is made a study about the corrosion in metals, where are listed the main types, control and prevention. The next chapter deals with the specific corrosive processes of the naval area, as cavitation. The chapter four addresses the main anticorrosive techniques used in vessels, such cathodic protection and industrial painting. There are explanations about two main forms of cathodic protection: by sacrificial anodes and for impressed current. The fifth chapter concludes the work with the final considerations about the actual solutions of the corrosion problem on ships.

Keywords: Corrosion. Industrial painting. Cathodic protection. Cavitation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Embarcação que sofreu corrosão fraturante sob tensão	12
<b>Figura 2:</b>	Estrutura metálica submetida a corrosão uniforme	14
<b>Figura 3:</b>	Chapa metálica que sofreu corrosão em placas	14
<b>Figura 4:</b>	Peça metálica com corrosão alveolar	15
<b>Figura 5:</b>	Corrosão puntiforme	17
<b>Figura 6:</b>	Esquema simplificado estrutura com corrosão intergranular	17
<b>Figura 7:</b>	Exemplo de trinca característica de corrosão transgranular	18
<b>Figura 8:</b>	Chapa que sofreu corrosão por esfoliação	18
<b>Figura 9:</b>	Chapa com empolamentos por hidrogênio	19
<b>Figura 10:</b>	Exemplo de corrosão galvânica	20
<b>Figura 11:</b>	Estrutura de concreto que sofreu corrosão química	20
<b>Figura 12:</b>	Ciclo dos metais	22
<b>Figura 13:</b>	Exemplo de corrosão por cavitação em propulsor	27
<b>Figura 14:</b>	Embarcação americana de alta velocidade	28
<b>Figura 15:</b>	Anodos de sacrifício no casco de uma embarcação	30
<b>Figura 16:</b>	Sistema proteção catódica por corrente impressa aplicada a um navio	31
<b>Figura 17:</b>	Tubulações de água salgada sendo pintadas	34
<b>Figura 18:</b>	Embarcação recém pintada	35
<b>Figura 19:</b>	Pintura do casco de uma embarcação no dique seco	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>CORROSÃO NOS METAIS</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Meios Corrosivos</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Tipos de corrosão</b>	<b>13</b>
2.2.1	Corrosão uniforme	13
2.2.2	Corrosão por placas	14
2.2.3	Corrosão alveolar	14
2.2.4	Corrosão por pite	15
2.2.4.1	<i>Condições que causa os pites</i>	16
2.2.5	Corrosão intergranular	17
2.2.6	Corrosão transgranular ou transcristalina	18
2.2.7	Corrosão por esfoliação	18
2.2.8	Corrosão por empoamento pelo hidrogênio	19
2.2.9	Corrosão galvânica	19
2.2.10	Corrosão química	20
<b>2.3</b>	<b>Ciclo dos metais</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>CORROSÃO NO MEIO MARÍTIMO</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Principais materiais utilizados</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Corrosão por cavitação</b>	<b>24</b>
3.2.1	Tipos de cavitação	25
3.2.2	Processo de desgaste por cavitação	25
3.2.3	Prevenção do dano por cavitação	26
<b>4</b>	<b>MÉTODOS ANTICORROSIVOS</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Proteção catódica por anodo de sacrifício</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Proteção catódica por corrente de impressão</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Pintura industrial</b>	<b>31</b>
4.3.1	Pintura de navio	33
4.3.1.1	<i>Tecnologia na pintura</i>	34
4.3.2	Fatores relevantes no esquema de pintura	35
4.3.3	Defeitos na pintura	36
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é mostrar as variadas formas de como a corrosão pode se manifestar e afetar a estrutura embarcação e explicar a importância das técnicas anticorrosivas para elas.

Desde o final da pré-história que o homem aprendeu a trabalhar com os metais. Esse aprendizado foi evoluindo ao longo do tempo e trouxe um grande aumento na eficiência do seu trabalho e de suas técnicas de combate. Hoje em dia os metais são largamente utilizados pela sociedade para os mais variados fins, compondo desde eletrodomésticos até grandes plataformas de petróleo, com o consumo de aço em uma sociedade sendo utilizado como parâmetro de desenvolvimento econômico.

No caso da indústria do petróleo os metais assumem uma posição de destaque, pois compõem as embarcações e as plataformas. Esse uso em larga escala pôs a prova a resistência desses materiais e abriu um leque para o estudo de técnicas inibidoras ou atenuantes do principal inimigo deles, a corrosão.

No capítulo 2 deste trabalho é feita a definição de corrosão sob a ótica química e são mostradas as principais formas de como ela pode se manifestar em metais.

O capítulo 3 aborda os malefícios que ela pode trazer a uma embarcação. Nele são discriminados os principais materiais utilizados na indústria naval e como eles podem ser afetados pelos meios corrosivos. Ainda nesse capítulo, é falado sobre a forma de corrosão que mais pode afetar o propulsor de um navio, a cavitação.

Em seguida, no capítulo 4, são mostradas as principais maneiras de inibir ou atenuar a corrosão, é destacada a proteção catódica por anodo de sacrifício, por corrente impressa e salientada a importância da pintura em paralelo com os sistemas protetores.

No capítulo 5, as ideias desenvolvidas ao longo trabalho são sintetizadas e é feita a conclusão de modo a alertar a comunidade marítima a essa questão, que é de suma importância para garantir longa vida útil e excelência operacional das embarcações.

## 2 CORROSÃO NOS METAIS

A corrosão pode ser definida como uma reação de oxi-redução onde o metal é oxidado a partir da superfície, podendo 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 na área marítima nos direciona para a corrosão dos materiais metálicos, 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.

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, a qual 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 e é relativamente alta para metais como magnésio e alumínio e baixa para outros como ouro e prata.

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.

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 navios, levariam a parada de operação ou até mesmo ao afundamento. 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, ela é chamada de corrosão fraturante sob tensão. A fratura ocorre em um tempo mais curto do que a soma das ações isoladas da tensão e da corrosão.

**Figura 1:** Embarcação que sofreu corrosão fraturante sob tensão



Fonte: Site Brasil escola.

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

## 2.1 Meios corrosivos

Os principais meios de corrosão são:

- Atmosfera: o ar contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira etc. O eletrólito se constitui da água que condensa na superfície

metálica, na presença de sais ou gases de enxofre, formando ácido sulfúrico, que assim como outros constituintes como poeira e poluentes diversos, podem acelerar o processo corrosivo.

- Águas naturais (rios, lagos ou solos): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, poluentes diversos e gases dissolvidos, como em baterias, os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo.
- Água do mar: ela contém uma quantidade apreciável de sais, sendo desta forma um eletrólito por excelência, outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar o processo corrosivo.
- Produtos químicos: desde que em contato com a água ou com a umidade e sendo ionizáveis, formam um eletrólito, podendo provocar corrosão eletroquímica.

## **2.2 Tipos de corrosão**

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 química.

### **2.2.1 Corrosão uniforme**

A corrosão uniforme é um tipo de corrosão que se processa aproximadamente igual em toda a superfície exposta ao meio corrosivo, também é chamada por alguns de corrosão generalizada, mas esse termo não deve ser apenas usado para corrosão uniforme, pois é possível ter, também, corrosão por pite ou alveolar generalizadas, isto é, em toda a extensão da superfície corroída.

**Figura 2:** Estrutura metálica submetida a corrosão uniforme



Fonte: Site portal metálica.

### 2.2.2 Corrosão por placas

A corrosão em placas ocorre em algumas regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações.

**Figura 3:** Chapa metálica que sofreu corrosão em placas



Fonte: Site Brasil escola.

### 2.2.3 Corrosão alveolar

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

**Figura 4:** Peça metálica com corrosão alveolar



Fonte: Site Brasil escola.

### 2.2.4 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 e são 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 frequentemente difícil se detectarem os pites devido aos seus pequenos tamanhos e por estarem muitas vezes cobertos com produtos de corrosão, sendo 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 e outras regiões do material 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 e sua 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, também é variável, difícil de se medir quantitativamente a extensão da área corroída e de se estudá-la, podendo facilmente furar tubulações.

A presença de elementos de liga melhora a resistência à corrosão por pites. O molibdênio é um grande exemplo disso, mesmo em concentrações baixas. O acabamento da superfície também tem efeito marcante esse tipo de corrosão. As rugosidades e defeitos favorecem o ataque.

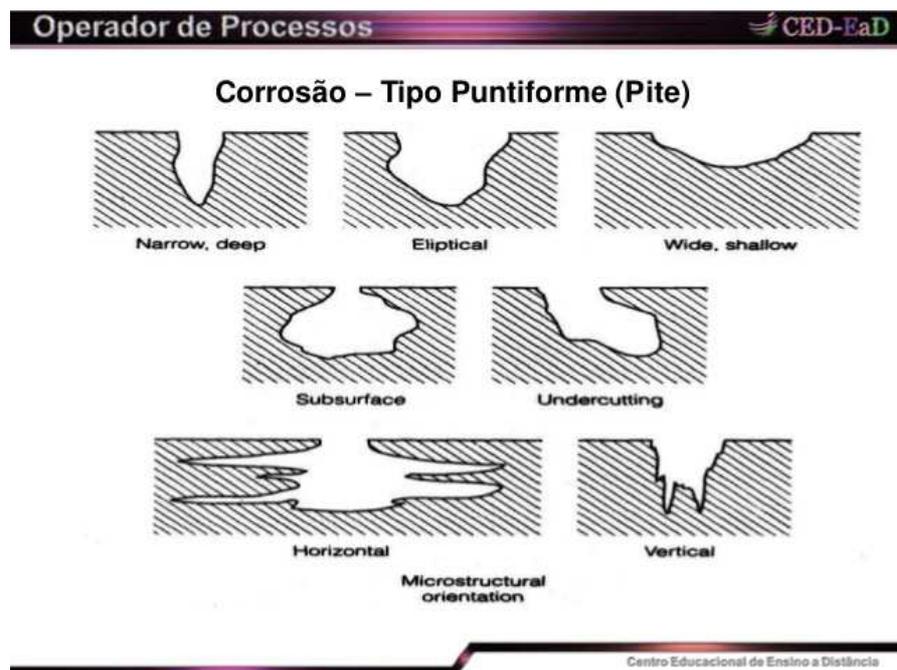
Dependendo da metalurgia da liga e do envolvimento químico, os pites podem ser rasos, profundos e elípticos dentro de uma superfície. As superfícies dos pites são frequentemente fluxos de depósitos de produtos de corrosão que formam precipitados.

#### *2.2.4.1 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 ou como os hipocloritos (encontrados em alvejantes) e 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 e as formações de pites nas regiões de ataque são determinadas pelas características microscópicas ou submicroscópicas sobre a película passiva que recobre a superfície metálica.

Pelo exposto, vemos que 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, e em relação à composição química, o molibdênio aumenta a resistência à formação de pite, ao passo que o silício diminui esta resistência.

**Figura 5:** Corrosão puntiforme

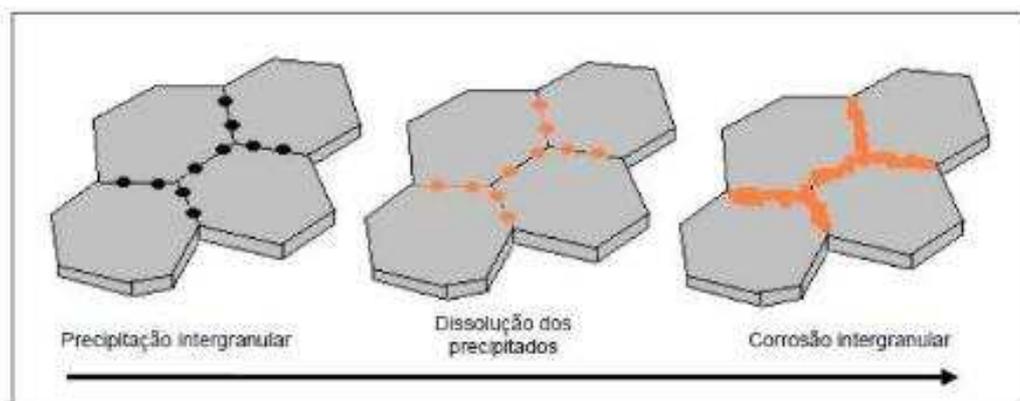


Fonte: Site Ebah.

### 2.2.5 Corrosão intergranular

A corrosão se processa entre os grãos da rede cristalina do material metálico, o qual perde suas propriedades mecânicas e pode fraturar quando solicitado por esforços mecânicos, tendo-se então a corrosão sob tensão fraturante.

**Figura 6:** Esquema simplificado estrutura com corrosão intergranular

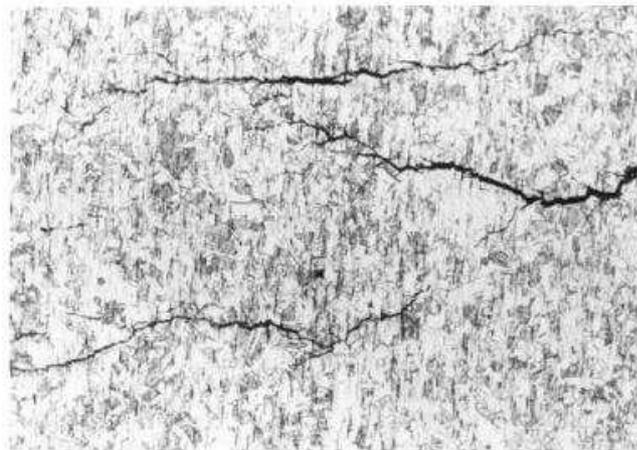


Fonte: Site Ebah

### 2.2.6 Corrosão transgranular ou transcristalina

É o tipo que se manifesta sob a forma de trincas, que se propagam pelo interior dos grãos do material, como no caso da corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis austeníticos.

**Figura 7:** Exemplo de trinca característica de corrosão transgranular



Corrosão transgranular ou transcristalina.

Fonte: Site Ebah

### 2.2.7 Corrosão por esfoliação

A corrosão se processa de forma paralela à superfície metálica. Ocorre 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. São mais observadas em ligas de alumínio.

**Figura 8:** Chapa que sofreu corrosão por esfoliação

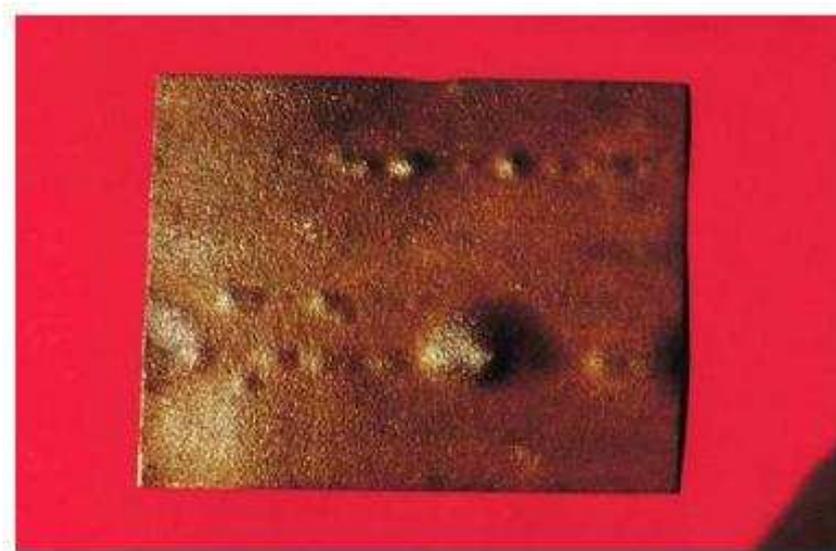


Fonte: Site Engenharia Química de Santos.

### 2.2.8 Corrosão por empolamento pelo hidrogênio

O hidrogênio de alguns compostos, como água, na superfície do material metálico difunde-se rapidamente em regiões de descontinuidades, como inclusões e vazios. Ele, então, se transforma em hidrogênio molecular ( $H_2$ ), exercendo pressão e originando a formação de bolhas, daí nome de “empolamento”.

**Figura 9:** Chapa com empolamentos por hidrogênio



Chapa de aço-carbono com empolamento por hidrogênio.

Fonte: Site Ebah.

### 2.2.9 Corrosão galvânica

A corrosão galvânica é um processo eletroquímico em que um metal sofre corrosão em relação a outro quando ambos estão em contato elétrico e imersos em um eletrólito, a mesma reação que é explorada em baterias primárias (pilhas) para gerar uma tensão elétrica. A corrosão galvânica e seus processos podem ser uma das formas mais comuns e frequentes de corrosão na natureza, bem como uma das mais destrutivas.

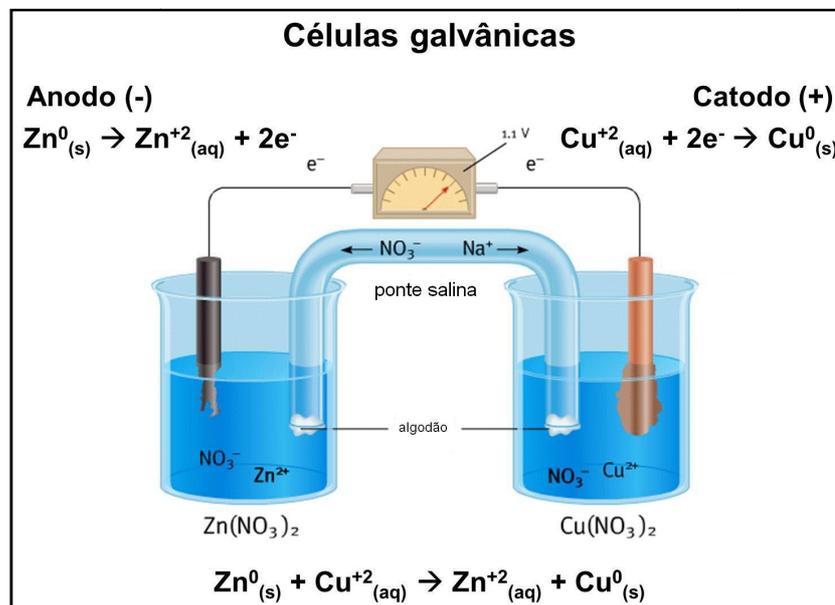
Uma célula galvânica (ou célula voltaica) é criada quando dois metais eletricamente diferentes, ou em áreas de diferentes potenciais no mesmo metal, são acoplados por meio de um eletrólito ou um condutor de íons (chamado, em determinadas disposições, uma “ponte salina”). Os metais e ligas diferentes possuem potenciais de eletrodo diferentes e quando entram em contato imersos em

um eletrólito configura-se um par galvânico, que também pode ser configurado em um único metal ou liga, devido à superfície de metal não ser homogênea ou se o eletrólito varia em composição, formando uma célula de concentração.

O eletrólito fornece um meio para a migração de íons através do qual os íons metálicos podem se mover do ânodo para o cátodo, resultando em uma reação eletroquímica que conduz à corrosão do metal anódico.

No caso modelar apresentado na figura 10, o ânodo é o eletrodo no qual a meia reação de oxidação ocorre, com os elétrons sendo absorvidos a partir da reação neste eletrodo. Assim, no eletrodo de zinco Zn (II) são liberados elétrons, deixando para trás dois elétrons para cada íon, notando-se que este eletrodo deve ter uma carga negativa, pois as reações químicas estão colocando excesso de elétrons para ele. O cátodo é o eletrodo no qual a meia reação da redução ocorre – os elétrons são liberados para a reação a este eletrodo. Note-se que a reação química está tomando elétrons deste eletrodo por isso vai se apresentar como positivo.

**Figura 10:** Exemplo de corrosão galvânica



Fonte: Site Ebah

### 2.2.10 Corrosão química

A corrosão química, também conhecida como seca, por não necessitar de água, corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra. No caso de um metal, o

processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície. Um exemplo desse processo é a corrosão de zinco metálico em presença de ácido sulfúrico:  $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$ .

A destruição do concreto, observada nas pontes e viadutos, tem como uma de causas a corrosão química, devida à ação dos agentes poluentes sobre seus constituintes (cimento, areia e agregados de diferentes tamanhos) e sobre a estrutura da armação metálica em seu interior. Essa corrosão também afeta a estabilidade e durabilidade das estruturas, sendo muito rápida e progressiva, e fatores mecânicos (vibrações e erosão), físicos (variação de temperatura), biológicos (bactérias) ou químicos (em geral ácidos e sais) são os responsáveis por esse processo. A figura mostra um exemplo de corrosão química numa estrutura de concreto.

**Figura 11:** Estrutura de concreto que sofreu corrosão química



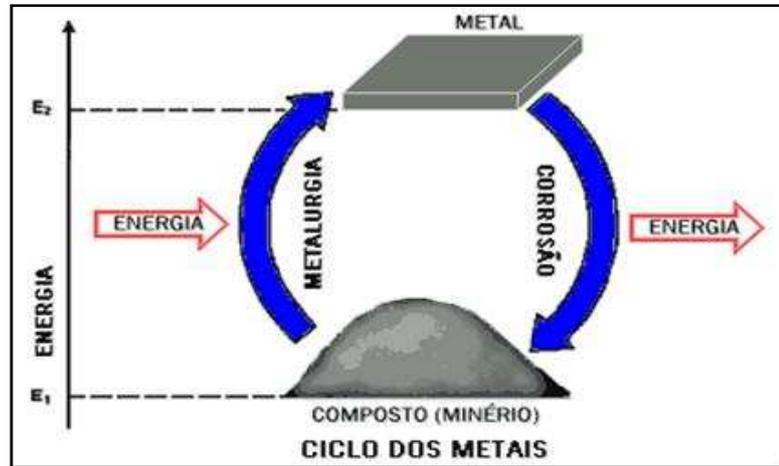
Fonte: Portal metálica.

### 2.3 Ciclo dos metais

Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio, como as espécies químicas  $O_2$ , S,  $H_2S$ ,  $CO_2$  entre outros, produzindo compostos semelhantes aos encontrados na natureza, dos quais foram ou poderiam ter sido extraídos. Disto chega-se à conclusão que para estes casos a corrosão metálica corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos, os processos de obtenção dos metais em estado puro, configurando o ciclo dos metais,

no qual se aplica energia sobre um sistema químico obtendo o metal, e com sua corrosão e volta a um estado diverso do metal puro há a liberação de energia.

**Figura 12:** Ciclo dos metais



Fonte: Site Ebah.

### **3 CORROSÃO NO MEIO MARÍTIMO**

A destruição causada pelo processo corrosivo é responsável por grandes prejuízos na área naval, tanto pela necessidade de substituição de chapas de aço, quanto pelo aumento da rugosidade das superfícies do casco, que impacta no consumo de combustível utilizado para o deslocamento do navio. Sendo assim, a corrosão do casco, tanques, equipamentos e outros contribui para a necessidade de reparos periódicos e trabalhosos, bem como para redução considerável da segurança operacional, causando um lucro cessante indesejável.

Em corrosão naval, vários aspectos devem ser considerados, tais como: a região climática em que os navios operam, natureza das águas, águas dos portos, tipos de cargas a transportar, tipo de construção e a qualidade de manutenção dos mesmos.

#### **3.1 Principais materiais utilizados**

Na indústria naval moderna, em princípio, os materiais especiais mais utilizados 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 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).

### **3.2 Corrosão por cavitação**

A cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o líquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao tomarem em contato com zonas de pressão mais alta são destruídas instantaneamente criando ondas de choque no líquido. A cavitação destrói as películas de produtos de corrosão expondo o material a novo desgaste corrosivo, além de provocar a deformação plástica com encruamento em face da incidência de ondas de choque de alta pressão e, portanto, a criação de áreas anódicas. Deste modo, o desgaste resultante será maior no caso de conjugar os dois fenômenos do que aquele observado pela ação de cada um isoladamente. O mecanismo de corrosão por cavitação pode ser descrito da seguinte forma: qualquer líquido contém bolhas gasosas ou vaporosas, que servem como núcleos de cavitação. Quando a pressão é reduzida a um determinado nível, as bolhas se tornam o repositório de vapor ou de gases dissolvidos. O resultado imediato dessa condição é que as bolhas aumentam rapidamente de tamanho. Posteriormente, quando as bolhas entram em uma zona de pressão reduzida, elas tomam um tamanho reduzido como resultado da condensação de vapores que elas contêm. Este processo de condensação surge de modo rápido, acompanhado por choques hidráulicos, emissão do som, destruição dos laços materiais e outros fenômenos indesejáveis.

Um aspecto crítico do processo de desgaste da cavitação é a destruição da superfície e do deslocamento de material causado pelo alto movimento relativo entre uma superfície e o fluido exposto.

Um aspecto crítico do processo de desgaste da cavitação é a destruição da superfície e do deslocamento de material causado pelo alto movimento relativo entre uma superfície e o fluido exposto. Assim, a cavitação é o nome dado a um mecanismo em que as bolhas de vapor (ou cavidades) em um fluido crescem e entram em colapso devido as flutuações de pressão local, que podem produzir uma

baixa pressão na forma de pressão de vapor do líquido, ocorrendo em condições de temperatura aproximadamente constantes. Esse fenômeno pode comprometer o desempenho do navio, trazendo grandes preocupações aos projetistas, porque pode gerar efeitos indesejáveis como queda de empuxo (perda de força fornecida pela hélice), erosão das pás e aumento de vibrações induzidas pelo propulsor.

### 3.2.1 Tipos de cavitação

Existem dois principais tipos de cavitação: a vaporosa e a gasosa. A vaporosa é um processo de ebulição que acontece quando a bolha cresce explosivamente, de forma ilimitada, mudando o líquido rapidamente para vapor. Essa situação ocorre quando o nível de pressão cai abaixo da pressão de vapor do líquido. Já a gasosa é um processo de difusão que ocorre quando a pressão cai abaixo da pressão de saturação dos gases não condensáveis dissolvidos no líquido. Enquanto a cavitação vaporosa é extremamente rápida, ocorrendo em microssegundos, a gasosa é muito mais lenta, e o tempo que demora depende do grau de convecção (circulação de fluidos) presente.

A corrosão por esse processo incide somente sob condições de cavitação vaporosa – em que as ondas de choque e micro jatos podem corroer as superfícies do metal. Esse desgaste também é conhecido como erosão de cavitação vaporosa, fadiga por cavitação, erosão de impacto líquido ou trefilação.

### 3.2.2 Processo de desgaste por cavitação

O líquido é o meio que provoca o desgaste por cavitação, que não requer uma segunda superfície, mas exige apenas que o movimento entre superfície e o fluido seja intenso. Tal movimento reduz a pressão local no fluido, com cada cavidade de vapor durando pouco tempo, porque quase qualquer aumento da pressão faz com que o vapor dentro da bolha se condense instantaneamente, e ao colapso da bolha uma onda de choque é produzida, colide com as superfícies metálicas adjacentes e destrói os laços materiais. A primeira onda de choque produz uma tensão de compressão na superfície sólida, e depois quando ela é refletida gera uma tensão de tração que é normal com a superfície. A cavitação é geralmente encontrada em uma

condição hidrodinâmica caracterizada por uma alteração súbita e grave da pressão hidrostática existente.

### 3.2.3 Prevenção do dano por cavitação

O dano por cavitação é uma forma de corrosão-erosão de superfícies metálicas, associada ao colapso de bolhas de vapor ou "cavidades" em líquidos em rápido movimento, e o dano pode ser reduzido variando-se o projeto a fim de minimizar as diferenças de pressão hidrodinâmicas em processos com fluidos. Superfícies de baixa rugosidade reduzem o dano devido ao fato de não proverem regiões para as cavidades se situarem. O dano por cavitação também pode ser reduzido usando-se materiais com maior dureza e limite de resistência a tração, onde essas ligas (de cobalto, cromo e tungstênio) com durezas muito altas, tem sido observadas por resistirem ao dano por cavitação e aços inoxidáveis austeníticos também tem sido usados efetivamente. Materiais tais como borrachas e elastômeros, que possuem alta resiliência, também podem ser usados.

Proteção catódica de um sistema pode ser empregada para reduzir os efeitos da cavitação, a formação de bolhas de hidrogênio sobre a superfície metálica ajuda a amortecer as ondas de choque produzidas durante o processo. No desgaste por cavitação as trincas se propagam até o ponto em que o material metálico não pode mais suportar a carga de impulso que as implosões das bolhas de vapor impõem, e como acontece com qualquer falha por fadiga formam microfissuras de tensão (entalhes, rasgos, rebaixos, defeitos de solda, etc.). Portanto, uma superfície rugosa é propensa ao desgaste e a cavitação, considerando que os danos aumentam conforme a superfície se torna mais áspera. A forma mais básica de combate a corrosão por cavitação é minimizar o esforço de tração sobre o fluido, baixando o nível das condições de refração ou de vácuo nas zonas potenciais de cavitação.

**Figura 13:** Exemplo de corrosão por cavitação em propulsor



Fonte: Site Brasil escola.

Portanto, uma superfície rugosa é propensa ao desgaste e a cavitação, considerando que os danos aumentam conforme a superfície se torna mais áspera. A forma mais básica de combate a corrosão por cavitação e minimizar o esforço de tração sobre o fluido. Em outras palavras, os usuários dos equipamentos devem baixar o nível das condições de refração ou de vácuo nas zonas potenciais de cavitação.

#### 4 MÉTODOS ANTICORROSIVOS

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

Na verdade, um processo de corrosão e seu controle não podem ser tratados isoladamente, o estudo de um implica no estudo do outro, pois o próprio mecanismo da corrosão pode fornecer a forma através da qual se pode combater com mais eficiência.

Em todos os métodos utilizados para controle de corrosão, se deve levar em conta o fator econômico, principalmente porque em vários casos o prejuízo causado pela corrosão não se concentra no custo da peça a ser trocada e sim na parada total de uma unidade em operação para que se possa processar a substituição.

Em âmbito geral de prevenção da corrosão, algumas soluções reduzem ou mesmo eliminam a velocidade da corrosão, entre elas podemos citar: a mudança de materiais até então usados, mudança completa do meio ambiente ou parcial alteração pela modificação do ph, aplicação de camadas de tinta orgânica ou eletrodeposição, utilização de técnicas eletroquímicas como tintas consumíveis, proteção catódica ou anódica, e prever maior tolerância de uma corrosão geral e controle de fatores como temperatura e velocidade em projetos. Projetos de navios de alta velocidade podem ser comprometidos por processos corrosivos, possivelmente o caso do tipo LCS da marinha americana que está com problema de desgaste prematuro do casco.

**Figura 14:** Embarcação americana de alta velocidade



Fonte: Site Tec Mundo

#### **4.1 Proteção catódica por anodo de sacrifício**

A proteção catódica usa um ou mais ânodos de sacrifício feitos de um metal que é mais ativo do que o metal protegido. Metais comumente usados para ânodos de sacrifício incluem o magnésio, o zinco e o alumínio, além de suas ligas. A falta de regularidade na substituição de ânodos de sacrifício no casco das embarcações diminui severamente sua vida útil.

Um material anódico deve reunir as seguintes propriedades: custo razoável, de modo que em conjunção com as características eletroquímicas corretas, possa obter-se uma proteção a um custo baixo por ampere-ano; fácil obtenção e deverá poder ser fundido em diferentes formas e tamanhos; em seu processo de dissolução anódica, a corrosão deverá ser uniforme; elevado rendimento elétrico.

Estas exigências apontam que apenas o magnésio, o zinco, o alumínio e suas ligas podem ser considerados como materiais a serem utilizados de maneira prática como ânodos de sacrifício.

O zinco tem sido sempre o material do ânodo tradicional, e é o pioneiro do desenvolvimento de proteção catódica. Os ânodos de liga de magnésio também têm sido utilizados com sucesso, usados principalmente para a proteção de estruturas que exigem uma rápida polarização, ou agressiva alta resistividade, como solos. O alumínio é um material do ânodo de grande interesse pelas suas características eletroquímicas. No entanto, a obtenção de ânodos de sacrifício de alumínio de liga adequadas tem sido mais lenta do que os dos outros dois metais, que nos últimos anos tem tido um grande desenvolvimento. A figura 15 mostra uma aplicação de anodo de sacrifício numa no casco de uma embarcação.

**Figura 15:** Anodos de sacrifício no casco de uma embarcação



Fonte: Site Workshop.

Como exemplo de uma aplicação de ânodo de sacrifício considere um sistema composto de aço 316 SS (a série 300 de aço inoxidável, é uma liga muito nobre, é bastante resistente à corrosão e tem um alto potencial), onde o aço corrói na presença de um eletrólito como a água salgada. Se um ânodo de sacrifício é usado (como uma liga de zinco, ligas de alumínio ou de magnésio), estes ânodos serão corroídos, protegendo os outros metais. Esta é uma prática comum na indústria naval para proteger os equipamentos do navio. Barcos e navios que estão na água salgada usando então uma liga de zinco ou liga de alumínio. Se os barcos estão apenas em água doce, uma liga de magnésio é utilizada, já que tem um dos maiores potenciais galvânicos de qualquer metal. Se for usado um aplicativo de água salgada em um barco de casco de aço ou alumínio, bolhas de hidrogênio se formam sob a pintura, causando descamação

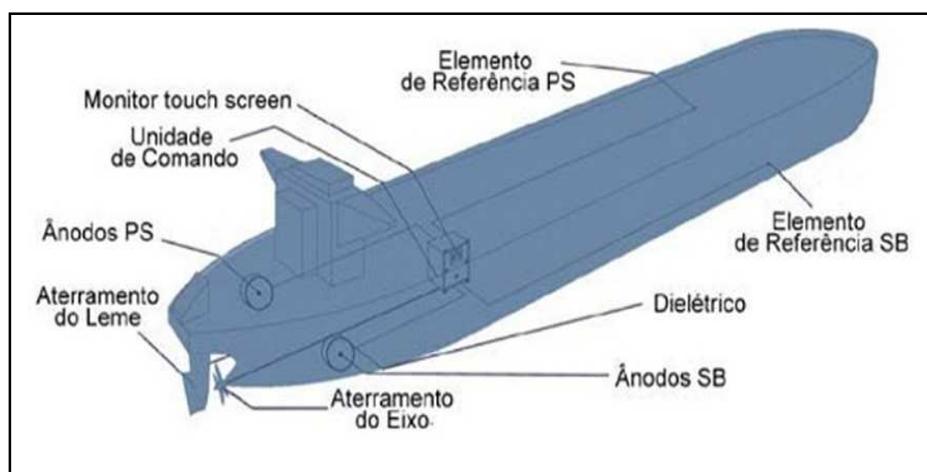
#### **4.2 Proteção catódica por corrente impressa**

Nos sistemas com corrente impressa, a polarização do metal a proteger é conseguida pela aplicação de uma corrente catódica através de sua interface com auxílio de um gerador de corrente contínua (ou um retificador). Para fechar o circuito é necessária a presença de um eletrodo anódico, que é polarizado para valores de

potencial acima do valor de potencial ao qual se estabiliza o cátodo, e a diferença de potencial entre ânodo e cátodo é suprida pela fonte de força eletromotriz, não sendo necessário que o ânodo se dissolva, pois poderá ser um metal inerte que apenas sirva de sede de uma reação anódica qualquer, em geral a de liberação de oxigênio (oxidação da água). Pode-se, porém, usar metais corrosíveis como ligas de Ferro-silício, sucata de ferro ou aço, e os ânodos que não se corroem se chamam de ânodos permanentes e em geral são de ligas de titânio, nióbio ou tântalo, platinizados ou revestidos com óxidos de outros metais nobres, com a vantagem de não se dissolverem e, portanto, não ser necessária sua substituição periódica.

Em qualquer dos métodos que se utilize, existe a possibilidade de se produzir uma superproteção, embora seja mais comum no sistema de corrente impressa, acontecendo quando o potencial atingido é desmesuradamente negativo, pois a densidade de corrente catódica passa a ser excessiva, com o que se dissolve mais do que o necessário do ânodo de sacrifício, ou se utiliza mais energia que o suficiente no processo de corrente impressa. Qualquer método que se use de proteção catódica seria muito caro se fosse necessário trabalhar com a superfície totalmente descoberta, pois a corrente a fornecer é proporcional à área a proteger e por isto é comum que o metal seja revestido por algum material (pintura, revestimento polimérico, etc.) e a proteção catódica só garanta sua ação nas falhas desse revestimento, as quais vão aumentando com o tempo devido a diversos tipos de degradação do recobrimento e, com isto, vai sendo exigido cada vez mais do sistema de proteção catódica.

**Figura 16:** Sistema proteção catódica por corrente impressa aplicada a um



navio

Fonte: Site Workshop.

### 4.3 Pintura industrial

Na especificação de um esquema de pintura procura-se indicar tintas de alto padrão técnico, preparo adequado de superfície e condições de aplicação para se conseguir bom desempenho do esquema de pintura e conseqüentemente adequado tempo de vida útil das estruturas ou equipamentos. O aço é o principal material utilizado pela engenharia na construção de equipamentos e instalações navais, e devido sua baixa resistência à corrosão a pintura industrial tornou-se o principal meio de proteção anticorrosiva da era moderna. A aplicação de pintura consiste na interposição de uma película, em geral orgânica, entre o meio corrosivo e o material metálico que se deseja proteger, e estes revestimentos são aplicados por forma de tintas.

Como técnica de proteção anticorrosiva a pintura possui uma série de características importantes, tais como: facilidade de aplicação e de manutenção e relação custo/ benefício atraente, podendo proporcionar outras propriedades adicionais como: finalidade estética, sinalização de estruturas ou de equipamentos, identificação de fluidos em tanques ou tubulações, impedir a incrustação de microrganismos marinhos nos cascos das embarcações (a aplicação das chamadas tintas “antifouling” nos cascos das embarcações evita a incrustação de microrganismos marinhos nos mesmos, o que contribui para evitar o consumo excessivo de combustível e aumentar a durabilidade da proteção anticorrosiva), permitir maior ou menor absorção de calor (através do uso correto das cores das tintas pode-se, por exemplo, reduzir as perdas por evaporação em tanques de combustível, com a cor branca sendo a mais indicada para esta finalidade e a cor preta recomendada para os casos em que há necessidade de uma maior absorção de calor), diminuição da rugosidade superficial, identificação de falhas em isolamento térmico de equipamentos (através da utilização de tintas indicadoras de temperatura pode-se detectar a presença de falhas no isolamento térmico, uma vez que, nos locais de falhas do mesmo, a pintura muda de cor), camuflagem e redução de ruídos.

Quanto mais limpa e isenta de contaminantes como tintas velhas mal aderidas, óleos, graxas, carepa de laminação, sais e corrosão, melhor será o desempenho da pintura e a aderência dela ao substrato. Tintas são substâncias

químicas em forma líquida, pastosa ou em pó, que após aplicação e cura, formam um filme seco, duro e obliterante.

Quando se vai proteger uma estrutura ou um equipamento, por meio de revestimentos por pintura, na realidade, o que se vai fazer é a aplicação de um esquema de pintura sobre a superfície a ser protegida, comumente definido como sendo um procedimento dentro do qual se especificam todos os detalhes técnicos envolvidos em sua aplicação, por exemplo: o tipo de preparação e o grau de limpeza da superfície, as tintas de fundo (“primer”), intermediária e de acabamento a serem aplicadas, a espessura de cada uma das demãos de tintas, os intervalos entre demãos e os métodos de aplicação das tintas, os critérios para a execução de retoques na pintura, os ensaios de controle de qualidade a serem executados na pintura, as normas e os procedimentos a serem seguidos para cada atividade a ser realizada. Para fins de proteção anticorrosiva de estruturas metálicas ou de equipamentos um esquema de pintura é composto, na maioria dos casos, por três tipos de tinta: tinta de fundo ou primária (*primer*), tinta intermediária e tinta de acabamento. É importante ressaltar que nem sempre é necessária a presença da tinta intermediária, pois em alguns casos, dependendo de especificação do esquema de pintura, ela pode ser substituída por uma demão adicional de tinta de fundo ou da tinta de acabamento.

A tinta de fundo (*primer*) é aquela aplicada diretamente ao substrato, portanto, é a tinta responsável pela aderência do esquema de pintura ao metal a se proteger e é a que contém na composição os pigmentos anticorrosivos.

A tinta intermediária é que normalmente é utilizada com a função de aumentar a espessura do revestimento, com isso aumentando a barreira de proteção do substrato. Algumas tintas intermediárias são denominadas seladoras, que são utilizadas para selar uma película muito porosa, antes da aplicação da tinta de acabamento.

A tinta de acabamento tem a função de conferir a resistência química ao revestimento, pois ela que está em contato direto com o meio corrosivo, possuindo na maioria dos casos boa resistência a raios ultravioletas e confere a cor final dos revestimentos por pintura.

#### 4.3.1 Pintura de navio

A pintura de navios e embarcações normalmente é realizada em dique seco durante a fabricação ou docagem, executando pequenos reparos ou até mesmo demãos de acabamento que podem ser aplicadas com a embarcação flutuando. No caso de fabricação de navios é comum a aplicação de demãos de tinta de fundo (primer) no recebimento das chapas a fim de protegê-las durante a estocagem, bem como tornar mais rápido o processo de fabricação, ficando as demãos de acabamento para serem aplicadas ao final da montagem.

Para as obras vivas deve ser selecionado um esquema para imersão em água salgada e aplicada uma tinta de acabamento ante incrustante. Para as obras mortas deve ser selecionado um esquema para atmosfera altamente agressiva (atmosfera marinha possui elevada umidade e sais em suspensão). Nos casos de tanques de lastro, de água potável e de carga devemos ter um esquema para imersão no produto considerado. Para tanques de carga é comum pintar o fundo, o teto e um metro das laterais junto ao fundo e ao teto, já tanques para transporte de produtos químicos recebem pintura total. Na praça de máquinas a pintura sofre comumente muitos danos mecânicos, sendo frequente a utilização de esquemas menos nobres que são refeitos periodicamente.

**Figura 17:** Tubulações de água salgada sendo pintadas



Fonte: Site Workship.

**Figura 18:** Embarcação recém pintada



Fonte: Site Workshop.

#### *4.3.1.1 Tecnologia na pintura*

A fim de preservar a integridade estrutural de grandes superfícies, tais como navios tanques, plataformas e dutos, o mercado teve que pensar numa solução eficaz tanto no desempenho da atividade em si, quanto nas formas de otimizar o trabalho, incluindo as tecnologias, custo e sua operacionalização.

Uma empresa do setor, especializada em inspeção e desenvolvimento de softwares, vem testando uma solução que se baseia em multiplexadores (circuito básico de interconexão) por ultrassom. O uso de multiplexadores de ultrassom permite cobrir e avaliar tais tipos de grandes estruturas a um custo razoável, tornando possível a criação de sistemas de pequeno porte, além de confiáveis.

O uso dessa tecnologia otimiza a infraestrutura de inspeção, tanto de equipamentos como de pessoal, permitindo que poucos operadores, com poucos instrumentos, possam inspecionar rapidamente grandes áreas, com alta resolução. Os multiplexadores desenvolvidos são os menores e mais velozes do mercado, podendo ser facilmente adaptados a aplicações em que a portabilidade é importante. Possuem baixo consumo, podendo operar com bateria e alta velocidade de varredura.

Com os multiplexadores e os programas de aquisição e análise desenvolvidos, podem ser montados sistemas altamente eficientes para análise de falhas em estruturas. Existe uma tendência no mercado em exigir, além do laudo,

uma descrição dos procedimentos adotados, havendo, dentro deste perfil, uma preferência por sistemas automáticos, capazes de adquirir uma maior quantidade de dados, decorrente de uma melhor resolução de medida, com o objetivo de identificar defeitos cada vez menores e disparar medidas preventivas.

Parte das plataformas e dos petroleiros brasileiros já tem um tempo de uso razoável e precisam de inspeção de alta resolução, pois tendem a apresentar problemas de corrosão mais sérios e maiores.

#### 4.3.2 Fatores relevantes no esquema de pintura

Dois fatores são apontados como os principais na busca pela maior durabilidade dos produtos e tratamentos de combate a corrosão: manutenções preventivas e aplicação e escolha adequada do revestimento para as condições de exposição são, segundo as empresas, os itens mais importantes nesse contexto. Tais manutenções e inspeções preventivas podem ser feitas tanto pela empresa cliente quanto pela fornecedora, e o período de verificação varia em cada caso.

Ainda na busca de maior durabilidade, existe um outro fator muito importante e anterior a aplicação dos revestimentos que poderá ser crucial no resultado final dessas aplicações: a preparação de superfícies. Neste processo, são retiradas quaisquer sujidades, sais solúveis e componentes causadores de corrosão em superfícies.

Uma das opções existentes no mercado é o hidrojateamento. Considerada uma das mais seguras e ecologicamente corretas opções de preparação de superfícies. Ele confere maior produtividade ao processo, o equivalente a 50% se comparado a outros.

Este procedimento substitui todos os processos particulados empregados para esta finalidade, tais como granalha de aço e escoria de cobre, e processos mecânicos como agulheiros, esmerilhamento, lixamento, dentre outros.

#### 4.3.3 Defeitos na pintura

O reconhecimento do tipo de defeito que encontramos na pintura industrial, a compreensão de sua causa e como corrigi-lo prontamente reduz o custo da manutenção enquanto permite manter uma aparência estética de alto nível de

aceitação. Todas as tintas falham eventualmente por causa do intemperismo, sobretudo as externas, contudo falhas precoces são onerosas e frequentemente ocorrem. Quando as falhas da pintura concernentes as aplicações podem ser imediatamente detectadas e modificações nas condições de aplicação resultam no remédio imediato. Quando o defeito é detectado após a secagem da tinta, com ou sem exposição, a pintura tem que ser removida de substrato para evitar ocorrência de corrosão, porém se o defeito é restrito a aspectos superfícies como cor, brilho ou textura bastara, no geral, lixar e aplicar outra demão são suficientes.

Concluimos que a pintura é um método de proteção anticorrosiva com satisfatória relação custo / benefício e de alta qualidade, atuando prontamente para embarcações aumentando a sua vida útil e dos demais sistemas anticorrosivos.

**Figura 19:** Pintura do casco de uma embarcação no dique seco



Fonte: Site Habitíssimo.

Conclui-se que a pintura é um método de proteção anticorrosiva com satisfatória relação custo / benefício e de alta qualidade, atuando prontamente para embarcações aumentando a sua vida útil e dos demais sistemas anticorrosivos.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observa-se que a corrosão é um problema crítico na área naval. O custo do combate e prevenção contra a corrosão é extremamente elevado, não deixando dúvidas com relação a necessidade de revestimento nos sistemas de proteção. Portanto, o desenvolvimento da indústria naval, em nossos dias, acarreta a necessidade de um meio de defesa efetivo contra os processos corrosivos, gerados pela água salgada.

O que de melhor existe até o momento são os tipos de proteção galvânica e por corrente impressa, associadas a revestimentos superficiais. Esses tipos de proteção, atuando em sinergia, reduzem consideravelmente o processo corrosivo, aumentando a vida útil do navio e de seus componentes.

A conscientização dos profissionais desta área se faz necessária para que haja manutenções, principalmente, preditivas e não apenas corretivas, pois assim os gastos diminuiriam brutalmente.

As indústrias navais ainda estão com a filosofia de que a manutenção preditiva gera grandes custos a elas, no entanto, isso seria um grande e visível investimento futuramente.

## REFERÊNCIAS

ABRAFATI, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. **Tintas e Vernizes**. Volume 1. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2008.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Corrosão. **Formas de corrosão**. Disponível em: <[www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)>. Acesso em: 11 set. 2016.

BRASILESCOLA. Proteção contra corrosão. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/quimica/protecao-contracorrosao-ferro.htm>>. Acesso em 20 set. 2016.

CESEC/UFPR – Centro de Estudos de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. **Corrosão**. Disponível em: <[www.cesec.ufpr.br](http://www.cesec.ufpr.br)> Acesso em: 06 set. 2016.

CORROSÃO e Tratamento da Superfície. Disponível em: <[http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_ctrl\\_proc\\_indust/tec\\_metal/corr\\_rat\\_superf/161012\\_corr\\_trat\\_superf.pdf](http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_rat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf)> Acesso em 06 set. 2016.

GENTIL, Vicente. **Corrosão. 1º ed.** Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 1994. **MÉTODOS de Preparo da Superfície**. Disponível em: <<http://www.anatin.com.br/dicas.html>>. Acesso em 16 set. 2016.

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de Resistência a Corrosão. 2º ed.** Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2007.

PIMENTA, G. de Souza. **CONCEITO DE CORROSÃO**. Disponível em: [http://www.iope.com.br/3i\\_corrosao.htm](http://www.iope.com.br/3i_corrosao.htm) />. Acesso em 16 set. 2016.