



Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

dossiê técnico

Pintura para metais como proteção anticorrosiva

Renata Cardoso

Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro - REDETEC





Serviço Brasileiro de **Respostas Técnicas**

dossiê técnico

Pintura para metais como proteção anticorrosiva

O Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT fornece soluções de informação tecnológica sob medida, relacionadas aos processos produtivos das Micro e Pequenas Empresas. Ele é estruturado em rede, sendo operacionalizado por centros de pesquisa, universidades, centros de educação profissional e tecnologias industriais, bem como associações que promovam a interface entre a oferta e a demanda tecnológica. O SBRT é apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI e de seus institutos: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT.



TÈCPAR



FIERGS SENAI



SENAI



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



| | |
|----------------|---|
| Dossiê Técnico | CARDOSO, Renata Pintura para metais como proteção anticorrosiva Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro - REDETEC 11/6/2013 |
| Resumo | A pintura industrial é uma das técnicas anticorrosivas mais utilizadas e difundidas, principalmente na proteção do aço. A maioria dos revestimentos por pintura são orgânicos e compostos por um esquema que envolve três camadas de tintas: tinta de fundo, tinta intermediária e tinta de acabamento. Esse esquema é desenvolvido em função das condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas. |
| Assunto | Serviços de tratamento e revestimento em metais |
| Palavras-chave | <i>Anticorrosivo; corrosão; defeito de pintura; metal; película; proteção; revestimento; tinta anticorrosiva</i> |
| Atualizado por | AMBROZINI, Beatriz |



Salvo indicação contrária, este conteúdo está licenciado sob a proteção da Licença de Atribuição 3.0 da Creative Commons. É permitida a cópia, distribuição e execução desta obra - bem como as obras derivadas criadas a partir dela - desde que dado os créditos ao autor, com menção ao: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - <http://www.respostatecnica.org.br>

Para os termos desta licença, visite: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

Sumário

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 4 |
| 1.1. | Finalidade da pintura | 4 |
| 2. | CORROSÃO | 5 |
| 2.1. | Corrosão eletroquímica | 6 |
| 2.1.1. | Pilha de eletrodos diferentes | 8 |
| 2.1.2. | Pilha de ação local | 8 |
| 2.1.3. | Pilha ativa-passiva..... | 9 |
| 2.1.4. | Pilha de concentração iônica..... | 9 |
| 2.1.5. | Pilha de aeração diferencial | 9 |
| 3. | MECANISMOS DE PROTEÇÃO DE PELÍCULAS DE TINTA | 10 |
| 3.1. | Proteção por barreira | 10 |
| 3.2. | Proteção por pigmentos inibidores | 11 |
| 3.3. | Proteção catódica | 11 |
| 4. | PINTURA E ESQUEMA DE PINTURA | 11 |
| 5. | CONSTITUINTES DAS TINTAS E VERNIZES | 12 |
| 5.1. | Veículo fixo ou veículo não volátil | 12 |
| 5.2. | Solventes | 12 |
| 5.3. | Pigmentos | 13 |
| 6. | PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DOS REVESTIMENTOS POR PINTURA | 14 |
| 6.1. | Aderência | 14 |
| 6.2. | Flexibilidade | 15 |
| 6.3. | Resistência à abrasão e impacto | 15 |
| 6.4. | Resistência à água | 15 |
| 6.5. | Resistência às condições de exposição atmosférica | 15 |
| 7. | FATORES IMPORTANTES NO DESEMPENHO À CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS POR PINTURA | 15 |
| 7.1. | Aspectos relacionados à construção e ao projeto das estruturas e dos equipamentos | 15 |
| 7.2. | Preparação da superfície | 16 |
| 7.2.1. | Preparação por meio de limpeza com solventes..... | 16 |
| 7.2.2. | Preparação por meio de jateamento abrasivo..... | 16 |
| 7.2.3. | Preparação por meio de hidrojateamento | 17 |
| 7.2.4. | Preparação por meio de ferramentas mecânicas e/ou manuais..... | 18 |
| 7.3. | Especificação dos esquemas de pintura | 19 |
| 7.4. | Aplicação das tintas | 19 |
| 7.4.1. | Trincha | 19 |
| 7.4.2. | Rolo..... | 20 |
| 7.4.3. | Pistola de pulverização convencional | 20 |
| 7.4.4. | Pistola sem ar (<i>airless spray</i>)..... | 21 |
| 7.4.5. | Imersão | 21 |
| 7.4.6. | Pintura eletroforética | 21 |
| 7.5. | Qualidade das tintas dos esquemas de pintura | 21 |
| 8. | CONTROLE DE QUALIDADE | 21 |
| 8.1. | Ações de prevenção de defeitos antes da aplicação | 21 |
| 8.2. | Ações de prevenção de defeitos durante a aplicação | 22 |
| 8.3. | Ações de detecção de defeitos | 22 |
| 9. | FALHAS E DEFEITOS | 22 |
| 9.1. | Escorrimento ou descaimento | 23 |
| 9.2. | Espessura irregular (falta ou excesso) | 23 |
| 9.3. | Manchas ou manchamento | 23 |
| 9.4. | Over spray (pulverização deficiente) ou atomização seca | 23 |
| 9.5. | Porosidade ou poros | 24 |
| 9.6. | Sangramento ou ressolubilização | 24 |
| 9.7. | Cratera ou craterização | 24 |

| | |
|--|----|
| 9.8. Impregnação de abrasivos e/ou materiais estranhos ou lixa | 24 |
| 9.9. Inclusão de pelos | 24 |
| 9.10. Empolamento ou bolhas | 25 |
| Conclusões e recomendações..... | 26 |
| Referências | 27 |

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO

A pintura industrial é o método de proteção anticorrosiva de maior utilização na vida moderna. Por sua simplicidade, a proteção por pintura tem sido muito utilizada pelo homem nas construções e em objetos confeccionados em aço.

O aço é nos tempos atuais, e foi durante todo o século, o principal material de construção industrial, porém, devido à corrosão, só é possível o sucesso de sua utilização com o emprego de revestimentos eficazes, destacando-se, neste caso, o revestimento por tintas, que é um revestimento anticorrosivo normalmente orgânico, aplicado sobre a superfície que se quer proteger, com espessuras menores que 1 mm.

As primeiras utilizações de tintas datam de 40.000 anos atrás quando os primeiros homens pintaram nas paredes das cavernas utilizando pigmentos de ocre, hematita, óxido de magnésio e carvão vegetal. Os indígenas brasileiros obtinham tintas da flora nativa para ornamentar o corpo para festas, guerras e funerais ou para proteção contra insetos: o branco da tabatinga, o encarnado do araribá, do pau-brasil e do urucu, o preto do jenipapo e o amarelo da tatajuba (WIKIPEDIA, 2013).

Muito se evoluiu no fim do século passado e no início deste século, quanto à formulação das tintas, em especial a partir do desenvolvimento dos polímeros, que se constituem em toda a base das tintas modernas. Em todo o mundo tem-se hoje milhares de formulações de tintas diferentes, fabricadas com uma diversidade de matérias-primas.

O bom resultado da pintura industrial dependerá, entretanto, da observância de fatores básicos, sem os quais não haverá proteção adequada, por longo período, a custo compatível com o valor e o tempo de vida esperados para a estrutura. Assim, a pintura industrial necessita de criterioso estudo para escolha do esquema de pintura mais adequado para as instalações ou equipamentos a serem protegidos.

1.1. Finalidade da pintura

De acordo com Fragata (2009), a pintura possui uma série de características importantes para a proteção anticorrosiva, como facilidade de aplicação e de manutenção, relação custo/benefício atraente, além de outras finalidades, conforme mostrado na Figura 1, tais como:

- finalidade estética: torna a apresentação agradável;
- sinalização de estruturas ou equipamentos;
- identificação de fluidos em tanques ou tubulações;
- auxílio na segurança industrial;
- impermeabilização: pode ser utilizado para evitar a migração de íons agressivos para o interior do concreto, pela construção civil, por exemplo;
- diminuição de rugosidade superficial: para facilitar o escoamento de fluidos;
- impedir a aderência de vida marinha ao casco de navios e boias: aplicação de tintas conhecidas como anti-incrustantes, contribuindo para evitar o consumo excessivo de combustível e aumentar a durabilidade da proteção anticorrosiva;
- permitir maior ou menor absorção de calor: através da seleção correta da cor da tinta, como por exemplo, a cor branca é utilizada para reduzir a perda por evaporação em tanque e a cor preta é utilizada para casos de necessidade de maior absorção de calor;

- identificação de falhas em isolamento térmico de equipamentos: pode ser utilizada tintas indicadoras de temperatura, e onde houver falha no isolamento, a tinta mudará de cor.

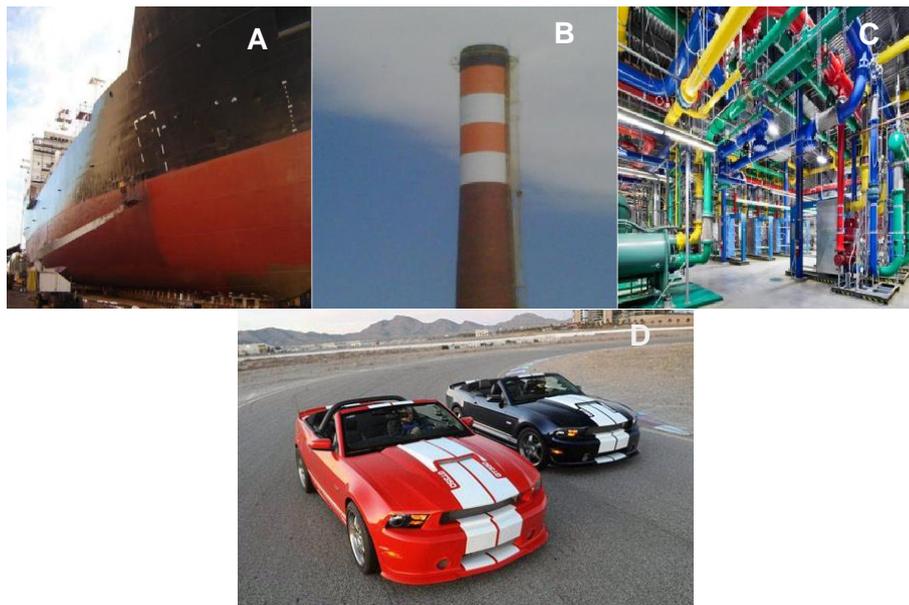


Figura 1 – Campos de aplicação da pintura. A) pintura anti-incrustante em casco de navio; B) pintura em chaminé para sinalização aérea; C) proteção anticorrosiva e identificação de linhas de fluidos; D) proteção anticorrosiva e finalidade estética

Fonte: (Arquivo pessoal)

2. CORROSÃO

A corrosão é um processo de deterioração do material que produz alterações prejudiciais e indesejáveis nos elementos estruturais. O produto da corrosão é um elemento diferente do material original, assim, a liga perde suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc. (CORROSÃO, [200-?]).

Como exemplo, tem-se a ferrugem, a camada de cor marrom-avermelhada que se forma em superfícies que tem o ferro como base. Esses processos corrosivos estão presentes direta ou indiretamente no cotidiano, pois podem ocorrer em grades, automóveis, eletrodomésticos e instalações industriais (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004)

Esse processo causa grandes prejuízos econômicos e sociais, pois traz danos às estruturas de edifícios, carros, pontes, navios, etc., perdendo tais bens e assim, torna-se necessário que a indústria produza mais desses metais para substituir os que foram danificados (FOGAÇA, [20--?]). 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; LOBO, 2007). A corrosão ainda acarreta em acidentes e perdas de vidas humanas provocados por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos.

A corrosão é um processo espontâneo que corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos de obtenção do metal e pode ser esquematizada, conforme mostra Figura 2.

Já que a corrosão é um processo espontâneo, para que os metais possam ser utilizados na indústria, é necessário que se retarde a velocidade das reações.

Os processos corrosivos podem ser classificados, de forma geral, em dois grupos: corrosão eletroquímica e corrosão química, que é melhor mostrado na Quadro 1.

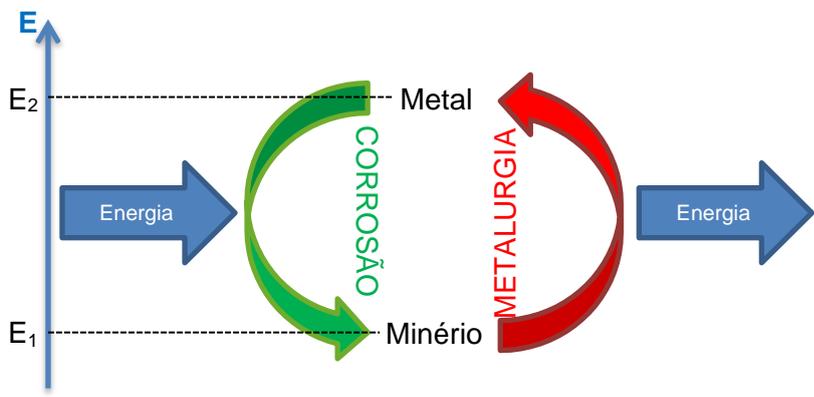


Figura 2 – Ciclo dos metais
 Fonte: (Elaboração própria)

A corrosão eletroquímica é responsável por 90 % dos casos e portanto, o foco será apenas nesse tipo de corrosão.

| Corrosão eletroquímica | Corrosão química |
|---|---|
| Temperatura abaixo do ponto de orvalho (em geral, temperatura ambiente) | Temperatura acima do ponto de orvalho (em geral, temperatura elevada) |
| Água no estado líquido | Ausência de água no estado líquido |
| Formação de pilhas ou células eletroquímicas | Interação direta metal / meio |

Quadro 1 – Tipos de corrosão
 Fonte: (Elaboração própria)

2.1. Corrosão eletroquímica

A pilha de corrosão eletroquímica constitui-se de quatro elementos fundamentais, conforme mostrado na Figura 3:

- área anódica: superfície onde ocorre o desgaste (reações de oxidação);
- área catódica: superfície onde não há desgaste (reações de redução);
- eletrólito: solução condutora que envolve simultaneamente as áreas anódicas e catódicas;
- ligação elétrica: entre as áreas anódicas e catódicas.

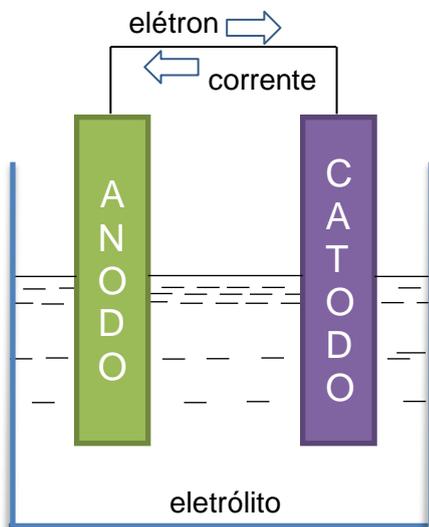
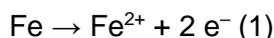


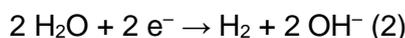
Figura 3 – Pilha de corrosão eletroquímica
 Fonte: (Elaboração própria)

Como exemplo, por Merçon, Guimarães e Mainier (2004), tem-se a formação da ferrugem (Equações 1 a 6):

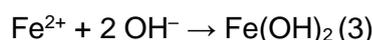
Reação anódica (oxidação):



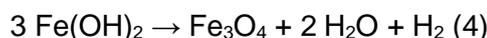
Reação catódica (redução):



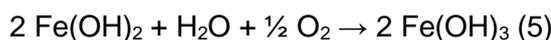
Neste processo, os íons Fe^{2+} migram em direção à região catódica, enquanto os íons OH^{-} direcionam-se para a anódica. Assim, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Em meio com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



Por sua vez, caso o teor de oxigênio seja elevado, tem-se:



Assim, o produto final da corrosão, ou seja, a ferrugem, consiste nos compostos Fe_3O_4 (coloração preta) e $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (coloração alaranjada ou castanho-avermelhada)

Outro exemplo desse tipo de corrosão ocorre quando se colocam dois metais diferentes ligados na presença de um eletrólito. Essas pilhas de corrosão são consequências de potenciais de eletrodos diferentes em dois pontos da superfície metálica, que causam a diferença de potencial entre eles (NUNES; LOBO, 2007).

De acordo com Merçon, Guimarães e Mainier (2004), a intensidade do processo de corrosão é avaliada pela carga ou quantidade de íons que se descarregam no catodo ou pelo número de elétrons que migram do anodo para o catodo, sendo que a diferença de potencial da pilha (ddp) será mais acentuada quanto mais distantes estiverem os metais na tabela de potenciais de eletrodo. A Tabela 1 apresenta alguns valores de potenciais de padrões de eletrodo.

Tabela 1 – Valores de potenciais padrões de eletrodo

| REAÇÃO DO ELETRODO | POTENCIAL PADRÃO, E^0 / V |
|---|---|
| $\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Mg}$ | -2,363 |
| $\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Al}$ | -1,662 |
| $\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ti}$ | -1,628 |
| $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Zn}$ | -0,763 |
| $\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cr}$ | -0,744 |
| $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Fe}$ | -0,440 |
| $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ni}$ | -0,250 |
| $\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Pb}$ | -0,126 |
| $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{H}$ | 0 |
| $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu}$ | +0,337 |
| $\text{Ag}^{+} + \text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Ag}$ | +0,799 |
| $\text{Pd}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Pd}$ | +0,987 |
| $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Au}$ | +1,420 |

Fonte: (NUNES; LOBO, 2007)

A seguir, serão mostradas as principais causas do aparecimento das pilhas de corrosão.

2.1.1. Pilha de eletrodos diferentes

Também conhecida como pilha galvânica e surge quando dois metais ou ligas metálicas diferentes são colocados em contato elétrico na presença de um eletrólito. A Figura 4 ilustra uma pilha com zinco e cobre

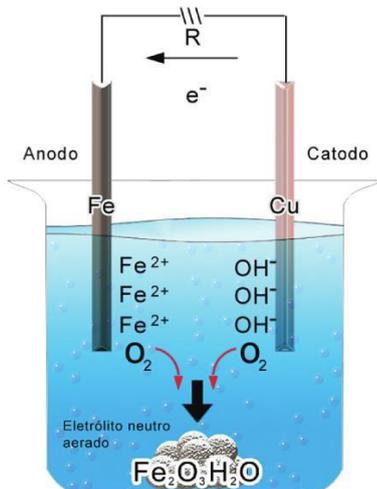


Figura 4 – Pilha galvânica
 Fonte: (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004)

2.1.2. Pilha de ação local

É a mais frequente na natureza e ocorre no mesmo metal, devido às diversas heterogeneidades do mesmo, decorrentes de composição química, textura do material, tensões internas, dentre outras. A Figura 5 mostra de forma esquemática a pilha de ação local.

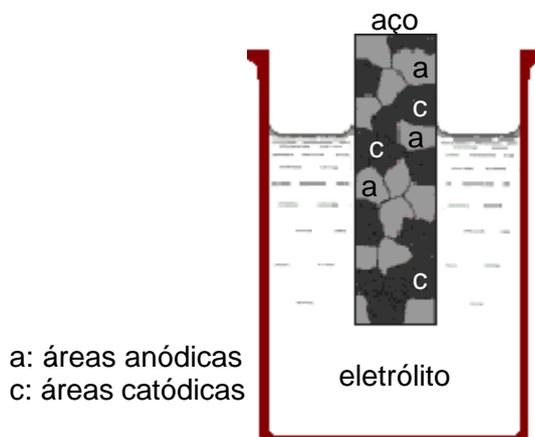


Figura 5 – Pilha de ação local distribuída em uma superfície metálica
 Fonte: (CARMO, [201-?])

De acordo com Carmo [201-?], as causas determinantes da pilha de ação local são:

- inclusões, segregações, bolhas, trincas;
- estados diferentes de tensões e deformações;
- acabamento superficial diferencial;
- diferença no tamanho e contornos de grão;

- tratamentos térmicos diferentes;
- materiais de diferentes épocas de fabricação;
- gradiente de temperatura e iluminação.

2.1.3. Pilha ativa-passiva

Esta ocorre nos materiais formadores de película protetora, como por exemplo: o cromo, o alumínio, os aços inoxidáveis, titânio, dentre outros. A película protetora se constitui numa fina camada do produto de corrosão que passiva a superfície metálica. Se a película for danificada em algum ponto por ação mecânica e, principalmente pela ação de íons halogenetos (especialmente cloreto), será formada uma área ativa (anódica) na presença de uma grande área passiva (catódica) com o conseqüente aparecimento de uma forte pilha, que proporciona corrosão localizada.

A Figura 6 mostra esse tipo de pilha.

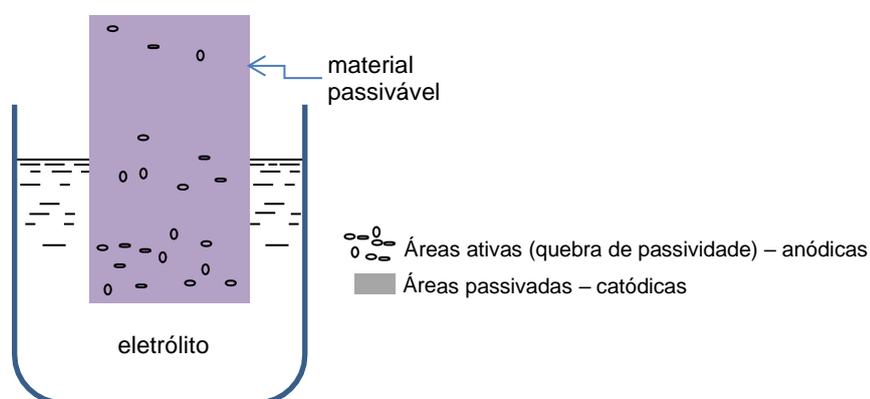


Figura 6 – Pilha ativa-passiva
Fonte: (Elaboração própria)

2.1.4. Pilha de concentração iônica

Esta pilha surge sempre que um material metálico é exposto a concentrações diferentes de seus próprios íons. Ela ocorre porque o eletrodo torna-se mais ativo quando decresce a concentração de seus íons no eletrólito (NUNES; LOBO, 2007).

Esta pilha é muito frequente em frestas quando o meio corrosivo é líquido. Neste caso, o interior da fresta recebe pouca movimentação de eletrólito, tendendo a ficar mais concentrado em íons de metal (área catódica), enquanto que a parte externa da fresta fica menos concentrada (área anódica), com conseqüente corrosão das bordas da fresta. A Figura 7 mostra de forma esquemática uma pilha iônica (NUNES; LOBO, 2007).

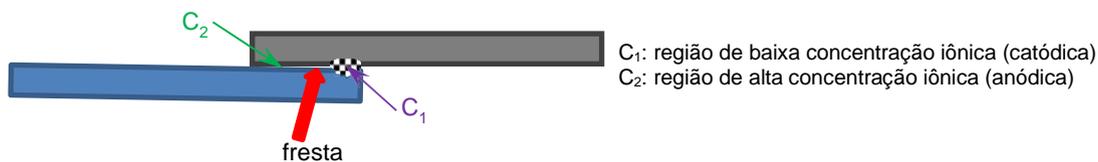
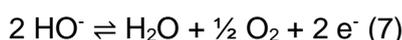


Figura 7 – Pilha de concentração iônica
Fonte: (Elaboração própria)

2.1.5. Pilha de aeração diferencial

Esta pilha é formada por concentrações diferentes do eletrodo de oxigênio. O eletrodo de oxigênio é expresso por:



Pode-se demonstrar que em duas regiões de um mesmo metal, quando submetidas a concentrações diferentes de oxigênio, a região em contato com a menor concentração funciona como área anódica (NUNES; LOBO, 2007).

De forma idêntica à pilha de concentração iônica diferencial, esta pilha também ocorre com frequência em frestas. Apenas as áreas anódicas e catódicas são invertidas em relação àquela. Assim, o interior da fresta, devido a maior dificuldade de renovação do eletrólito, tende a ser menos concentrado em oxigênio (menos aerado), logo, área anódica. Por sua vez a parte externa da fresta, onde o eletrólito é renovado com facilidade, tende a ser mais concentrada em oxigênio (mais aerada), logo, área catódica. O desgaste se processará no interior da fresta (NUNES; LOBO, 2007).

A Figura 8 mostra esse tipo de pilha.

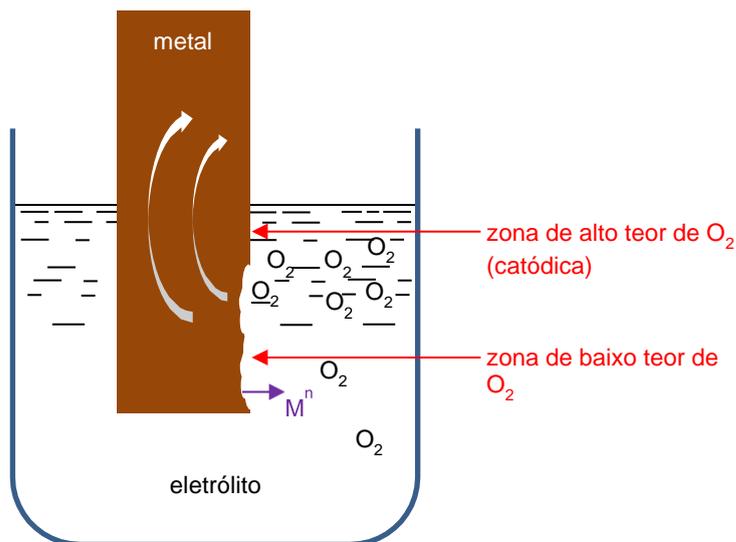


Figura 8 – Pilha de aeração diferencial
 Fonte: (Elaboração própria)

3. MECANISMOS DE PROTEÇÃO DE PELÍCULAS DE TINTA

Os mecanismos básicos de proteção de películas de tinta são:

3.1. Proteção por barreira

Este mecanismo está presente em todas as películas de tinta, sendo o mecanismo fundamental nas tintas de acabamento. Quando os revestimentos são aplicados sobre uma superfície metálica, a película funciona como uma barreira entre o metal e o meio corrosivo, conforme visto na Figura 9.

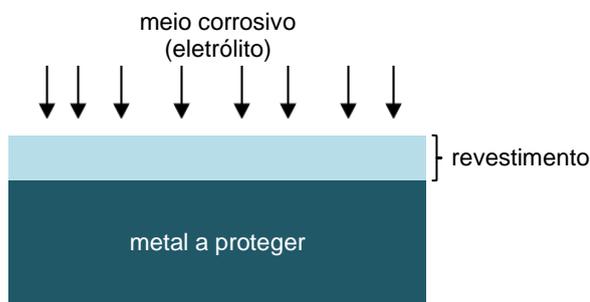


Figura 9 – Revestimento de proteção por barreira
 Fonte: Elaboração própria

Nesse tipo de proteção, é comum ocorrer corrosão por baixo da película, pois o revestimento é poroso, fazendo com que o eletrólito, depois de algum tempo, chegue ao metal. Além desse motivo, se o revestimento for danificado por ação mecânica ou se o mesmo for atacado pelo meio corrosivo, haverá falha no revestimento e conseqüente corrosão na superfície metálica (NUNES; LOBO, 2007).

3.2. Proteção por pigmentos inibidores

Este mecanismo é encontrado nas películas de tinta utilizadas como tinta de fundo (*primer*) que contêm pigmentos inibidores dando proteção por inibição anódica (ou passivação anódica). Este processo consiste na formação de uma camada passiva sobre a superfície do metal, impedindo a sua passagem para a forma iônica. Esses pigmentos são zarcão, cromato de zinco, etc. Há também, como mecanismo inibidor, os sabões metálicos formados nas tintas a óleo com determinados pigmentos através da reação entre o pigmento e os óleos da tinta (NUNES; LOBO, 2007).

3.3. Proteção catódica

Este mecanismo é encontrado nas películas de tinta utilizadas como tinta de fundo (*primer*), que contêm altos teores de pigmentos metálicos anódicos, em relação à superfície metálica a proteger. As tintas ricas em zinco são as únicas que tem mostrado resultados satisfatórios para esse tipo de proteção, embora exista outros metais com potenciais suficientes para tal. O magnésio e alumínio são exemplos desses metais e este fato ocorre, provavelmente, pelas características desfavoráveis dos seus produtos de corrosão e pela alta densidade deles, dificultando a formação de película altamente pigmentada (NUNES; LOBO, 2007). Este mecanismo está ilustrado na Figura 10.

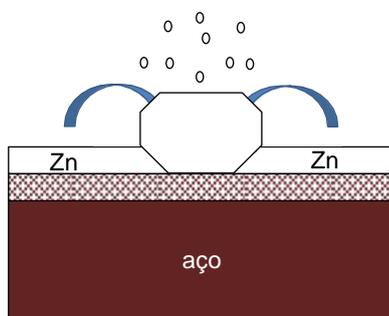


Figura 10 – Proteção por proteção catódica em revestimento metálico
Fonte: (Elaboração própria)

4. PINTURA E ESQUEMA DE PINTURA

A pintura é o processo de revestimento de uma superfície por meio de tintas e se estende a três ramos da atividade humana: pintura artística, pintura arquitetônica e pintura industrial.

A pintura industrial possui como função mais importante, a proteção anticorrosiva de estruturas metálicas e de equipamentos.

Para proteger uma estrutura ou equipamento, faz-se a aplicação de um esquema de pintura sobre a superfície que se quer proteger. O esquema de pintura é um procedimento onde se especifica os detalhes técnicos envolvidos na aplicação, como por exemplo, o tipo de preparação e o grau de limpeza da superfície; as tintas de fundo, intermediária e de acabamento bem como suas espessuras; intervalos entre demãos e método de aplicação das tintas; critérios para realização de retoques; ensaios de controle de qualidade que devem ser executados; normas e procedimentos para cada atividade a ser realizada.

A Figura 11 ilustra as tintas presentes em um esquema de pintura. Vale lembrar que dependendo do esquema não é necessária a aplicação da tinta intermediária.

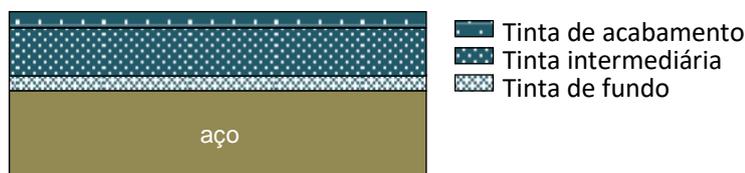


Figura 11 – Representação esquemática das tintas
Fonte: (Elaboração própria)

5. CONSTITUINTES DAS TINTAS E VERNIZES

A tinta é uma composição química líquida ou sólida que, após a secagem e cura, forma filmes com propriedades estéticas, decorativas, anticorrosivas, impermeabilizantes, etc. (FRAGATA, 2009).

Os constituintes básicos das tintas e vernizes, que está esquematizado na Figura 12, são:

- tintas líquidas convencionais: veículo fixo ou veículo não volátil, pigmento(s), solvente(s) e aditivo(s);
- tintas em pó e as isenta de solventes: veículo fixo, pigmento(s) e aditivo(s);
- vernizes: veículo fixo, solvente(s) e aditivo(s).

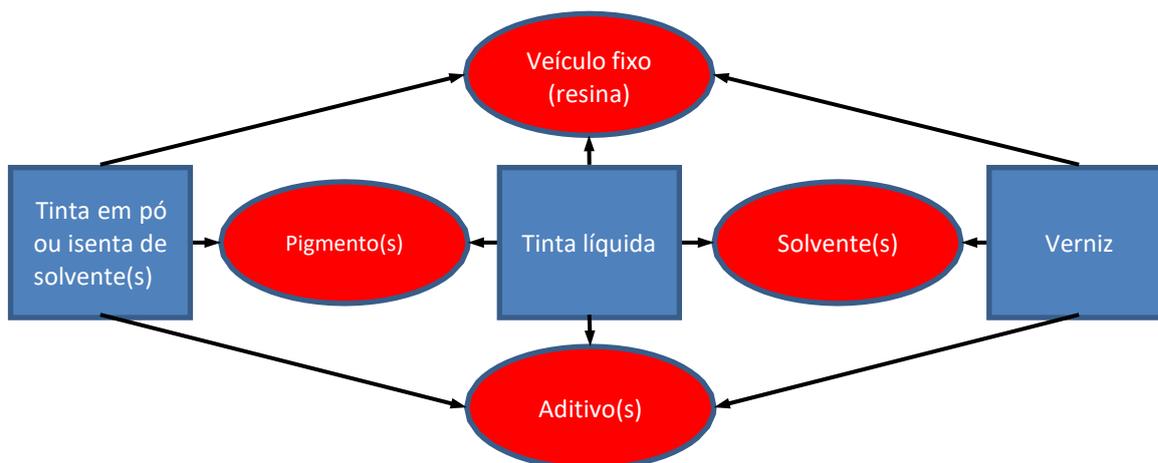


Figura 12 – Constituintes básicos das tintas e vernizes
Fonte: (Elaboração própria)

5.1. Veículo fixo ou veículo não volátil

O veículo fixo ou não-volátil (resina) é o constituinte que liga ou aglomera as partículas de pigmento, sendo o responsável direto pela continuidade e formação da película de tinta, e também pela maior parte das propriedades físico-químicas das mesmas. Também é responsável pela adesão da película em relação à superfície metálica. Ele é constituído, geralmente, por um ou mais tipos de resina, sendo, na sua maior parte, de natureza orgânica. É o elemento que agrega as partículas formadoras de película de tinta, também é o constituinte que caracteriza a tinta (SANTOS, 2005).

5.2. Solventes

Os solventes são substâncias usadas para solubilizar a resina, controlar a viscosidade e facilitar a aplicação das tintas.

Muitos problemas ocorridos na aplicação das tintas são causados pelo balanço inadequado de solventes na composição destas. Por exemplo, tinta, com teor excessivo de solventes de evaporação rápida, pode causar a formação de *overspray* na película quando aplicada com pistola convencional e um nivelamento deficiente. E, caso a tinta tenha excessivo teor de solventes de evaporação lenta, pode ocorrer retardamento da secagem da tinta e retenção de solventes no revestimento (FRAGATA, 2009).

De acordo com Santos (2005), atualmente, existe grande quantidade de solventes utilizados na indústria de tintas, dentre os quais destacam-se: hidrocarbonetos alifáticos (nafta e aguarrás), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno e xileno), ésteres (acetato de etila, acetato de butila e acetato de isopropila), álcoois (etanol, butanol e álcool isopropílico), cetonas (acetona, metiletilcetona, ciclohexanona) e os glicóis (etilglicol, butilglicol).

Os diluentes são compostos elaborados com diferentes solventes e são usados para ajustar a viscosidade de aplicação da tinta de acordo com o equipamento a ser utilizado na aplicação (FRAGATA, 2009).

De uma forma geral utiliza-se uma mistura de solventes com a finalidade de obter a solvência, o tempo de secagem adequado e a perfeita formação da película (SANTOS, 2005). De acordo com Barbosa (1993 apud SANTOS, 2005), o formulador deve conhecer as faixas de destilação dos solventes que irá utilizar na tinta e seu poder de solvência. Solventes leves acarretam em defeitos conhecidos como casca de laranja e solventes pesados produzem escorrimento de tinta e aumentam o tempo de secagem.

Devido a toxicidade dos solventes orgânicos, o uso das tintas com solventes vem sendo contestado, havendo forte tendência em substituí-las pelas solúveis em água. As tintas solúveis em água ou tintas hidrossolúveis, ou ainda, tintas à base de água, apresentam como vantagens o fato de não apresentarem odor, não contaminarem o ambiente e não oferecerem riscos à saúde dos pintores, uma vez que estes não se expõem a solventes orgânicos prejudiciais à saúde.

Quintela et al. (2002 apud SANTOS, 2005) mencionam que, nos últimos anos, devido ao apelo maior pela preservação ambiental, em alguns países foram criadas leis que regulamentam o teor de compostos orgânicos voláteis, que resultaram no surgimento das tintas ecológicas. Limites de compostos orgânicos voláteis foram especificados, inicialmente em 340 g/L de tinta e atualmente reduzidos para valores entre 240 e 270 g/L.

Atualmente, os esquemas de pintura de base aquosa se constituem numa alternativa viável na linha das tintas ecológicas na proteção contra a corrosão atmosférica do aço.

5.3. Pigmentos

Os pigmentos são partículas sólidas, finamente divididas, insolúveis no veículo fixo, utilizados nas tintas com objetivo estético ou decorativo, impermeabilizantes ou ainda, proteção anticorrosiva (FRAGATA, 2009). Uma tinta pode ser formulada com um ou mais pigmentos combinados, dependendo do que se espera da película de tinta.

Segundo Santos (2005), os pigmentos, de acordo com a finalidade, podem ser classificados em:

- opacificantes-coloridos: são os que se destinam a fornecer opacidade e cor, por exemplo, dióxido de titânio, azul da Prússia, etc. Por opacidade ou poder de cobertura entende-se que a película formada pelo pigmento, ao ser aplicada sobre uma superfície, mascare-a bem. Os pigmentos diferenciam-se dos corantes e anilinas, na questão da solubilidade e opacidade, pois os pigmentos são insolúveis no veículo e também conferem opacidade, fato que não ocorre com os corantes e anilinas;
- cargas: reforçam a película, regulam o brilho e a consistência, aumentam o teor de sólidos nas tintas de alta espessura e substituem parte do pigmento anticorrosivo e parte da resina, obtendo-se deste modo, tintas mais baratas, por exemplo, carbonatos, silicatos, sílicas e sulfatos;
- anticorrosivos: conferem propriedades anticorrosivas à película de tinta, notadamente às de fundo, e são divididos em inibidores (zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco) e protetores (tintas ricas em zinco).

Existem, ainda, os pigmentos especiais que são utilizados com objetivos específicos, como por exemplo, os impermeabilizantes, os perolados, os fluorescentes e fosforescentes e os anti-incrustantes (SANTOS, 2005).

O teor de pigmento tem grande influência nas características finais de uma película de tinta. As tintas com baixo teor de pigmento são mais brilhantes, ao passo que aquelas altamente

pigmentadas são foscas. Outros fatores como permeabilidade, dureza, resistência à abrasão, também são afetados pela relação entre veículo e pigmento.

Em relação à formulação de tintas, há uma relação importante denominada por *Pigment Volume Content* – PVC, e é dada pela seguinte equação:

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_{vf}} \times 100 \quad (8)$$

onde:

PVC = concentração volumétrica de pigmento (%)

V_p = volume de pigmento

V_{vf} = volume de veículo fixo

De acordo com essa equação, há variação das propriedades das películas de acordo com sua PVC, conforme mostra Quadro 2.

| Variação de PVC (*) | Propriedades da película | | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|--------|------------------------|
| | Brilho | Permeabilidade a vapor d'água | Flexibilidade | Coesão da película | Dureza | Porosidade/ rugosidade |
| PVC ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | ↑ |
| PVC ↓ | ↑ | ↓ | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ |
| (*) ↑ (aumenta), ↓ (diminui) | | | | | | |

Quadro 2 – Variação de propriedades em função da PVC

Fonte: (FRAGATA, 2009)

6. PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DOS REVESTIMENTOS POR PINTURA

Há diversas propriedades físico-químicas importantes para a durabilidade do revestimento por pintura. Os mais importantes para a proteção anticorrosiva são: aderência, flexibilidade, resistência à abrasão e impacto, resistência à água e às condições de exposição atmosférica (FRAGATA, 2009).

6.1. Aderência

O revestimento por pintura com baixa aderência acarreta em uma série de problemas, entre eles: se o mesmo estiver imerso ou exposto a alta umidade, pode ocorrer o aparecimento de bolhas (empolamento) no revestimento; se ficar exposto ao intemperismo natural, sob ação de raios solares e sujeito aos processos naturais de dilatação e contração, poderá ocorrer o descascamento (FRAGATA, 2009).

Para se obter boa aderência dos revestimentos por pintura aos substratos, a preparação de superfície deve ser bem executada. A preparação de superfície é a etapa anterior à aplicação das tintas, onde há a remoção dos contaminantes da superfície (óleos, graxas, sais, produtos de corrosão e pintura envelhecida, por exemplo) e criação de condições adequadas para essa aderência ao substrato (FRAGATA, 2009).

De acordo com Fragata (2009), há três mecanismos principais para a aderência do revestimento ao substrato:

- aderência química: ocorre quando a tinta reage quimicamente com o substrato;
- aderência polar: ocorre pela atração entre grupos polares das moléculas da resina com os grupos polares, de carga oposta, do substrato. Esse tipo de aderência, muitas vezes, não é suficiente para garantir uma boa durabilidade aos revestimentos por pintura, pois são forças fracas;
- aderência mecânica: ocorre baseada na rugosidade da superfície do substrato e por isso a preparação prévia é importante.

As falhas de aderência podem ser de natureza adesiva (o revestimento se desprende diretamente do substrato ou entre as demãos de tinta do esquema de pintura) ou coesiva (o revestimento não é destacado do substrato nem da outra demão, com o rompimento ocorrendo dentro da própria camada de tinta).

Ao se executar o teste de aderência, por métodos que utilize esforço por tração, o ideal é que o rompimento seja na própria camada, pois esse resultado mostra apenas (dependendo do valor obtido) que as forças de adesão são superiores às forças de coesão. Caso o rompimento se dê entre demãos ou diretamente do substrato, este resultado significa que o revestimento está comprometido em relação a durabilidade (FRAGATA, 2009).

6.2. Flexibilidade

O revestimento deve ter flexibilidade adequada para que não ocorra fissuras na película devido a sua dilatação e contração, gerada pelas variações térmicas do meio.

6.3. Resistência à abrasão e impacto

Duas propriedades importantes, dependendo das condições de trabalho e exposição das estruturas ou equipamentos, para não afetar a proteção anticorrosiva.

6.4. Resistência à água

Propriedade importante independente do meio que o equipamento ou estrutura esteja, já que estarão em contato com água de qualquer forma, seja sob condições de imersão ou de exposição à umidade atmosférica.

6.5. Resistência às condições de exposição atmosférica

Os revestimentos ficam sujeitos à ação de diversos agentes que contribuem para sua degradação, como radiação solar, umidade, sais, ventos, etc. Portanto, há a necessidade dos esquemas de pintura possuírem resistência adequada às condições de exposição.

7. FATORES IMPORTANTES NO DESEMPENHO À CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS POR PINTURA

A durabilidade de um revestimento por pintura depende de uma série de fatores. Os mais importantes, que influenciam a proteção anticorrosiva serão expostos a seguir.

7.1. Aspectos relacionados à construção e ao projeto das estruturas e dos equipamentos

A fim de maximizar a durabilidade do revestimento e por consequência, da proteção anticorrosiva, além de proporcionar redução no custo global, em função do uso de esquemas de pinturas mais econômicos, é importante que, na fase de projeto das estruturas e equipamentos, sejam tomadas algumas precauções. A seguir, tem-se alguns aspectos importantes.

- prever condições de acesso para inspeção e manutenção dos revestimentos por pintura;
- evitar a presença de locais que permitam a estagnação de água;
- evitar presença de frestas;
- evitar ou tratar adequadamente os cantos vivos;
- prever cordões de solda bem acabados;
- evitar contato de metais de potenciais diferentes.

7.2. Preparação da superfície

Essa etapa é a mais importante para que um esquema de pintura apresente o desempenho esperado. Visa remover os contaminantes da superfície (carepa de laminação, produtos de corrosão, sais, óleos, graxas, tintas velhas, etc.) e criar condições que proporcionem aderência satisfatória aos esquemas de pintura. O desempenho de um revestimento anticorrosivo está diretamente ligado a escolha adequada do tipo de tinta e do adequado preparo de superfície. Uma superfície limpa, seca, isenta de contaminantes e ferrugem, é uma base perfeita para uma boa performance de um sistema de pintura (FRAGATA, 2009).

Os serviços de preparação de superfície de aço são realizados para atender aos requisitos técnicos estabelecidos em normas que tratam desse tema. As normas SIS 055900-1967, ISO 8501, ISO 8504 e SSPC são as mais utilizadas mundialmente. Os graus de limpeza estabelecidos nessas normas são equivalentes entre si, diferindo apenas, em alguns casos, na nomenclatura (FRAGATA, 2009).

É importante, também, descrever os graus de intemperismo inicial que uma superfície ferrosa pode apresentar antes da limpeza. Assim, de acordo com as normas citadas, o aço não revestido pode se encontrar em quatro graus de intemperismo que serão descritos a seguir.

- grau A: superfície de aço com a carepa de laminação praticamente intacta em toda a superfície e sem corrosão. Representa a superfície de aço recentemente laminada;
- grau B: superfície de aço com princípio de corrosão, quando a carepa de laminação começa a desprender-se;
- grau C: superfície de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou poderá ser removida por raspagem ou jateamento, desde que não tenha formado ainda cavidades muito visíveis (pites) em grande escala;
- grau D: superfície de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão com formação de cavidades visíveis em grande escala.

7.2.1. Preparação por meio de limpeza com solventes

Geralmente é apenas uma das etapas do processo de preparação da superfície, para posterior aplicação dos revestimentos por pintura. Essa etapa visa remover contaminantes oleosos, sais, terras, etc.

Solventes orgânicos, detergentes, soluções alcalinas, vapor e água doce podem ser utilizados nessa etapa. A escolha do produto é função do tipo e grau de contaminação da superfície, das dimensões da superfície, da complexidade geométrica, das condições de acesso e da viabilidade operacional de execução (FRAGATA, 2009).

7.2.2. Preparação por meio de jateamento abrasivo

Consiste na remoção da camada de óxidos e outras substâncias depositadas sobre a superfície, por meio de aplicação de um jato abrasivo com granalha de aço, bauxita sinterizada, escória de cobre, dentre outros. Esse jato é obtido através da projeção. Sobre a superfície, de partículas de abrasivo, impulsionadas por um fluido, geralmente o ar comprimido (NUNES; LOBO, 2007).

É o tipo de limpeza mais adequado e recomendado para aplicação de pintura, pois possui grande rendimento de execução, proporciona limpeza adequada, além de deixar a superfície com rugosidade excelente para boa ancoragem da película de tinta (NUNES; LOBO, 2007). Há quatro graus de limpeza por jateamento abrasivo, que devem ser realizados em superfícies de aço cujos estados iniciais de oxidação são os citados anteriormente. Esses graus são avaliados com base nos padrões das normas técnicas que tratam desse tema

como, por exemplo, a SIS 055900-1967, ISO 8501 e SSPC. O Quadro 3 apresenta a equivalência dos padrões de limpeza dessas normas, e em seguida, a descrição destas.

| Descrição | Nomenclatura | | |
|----------------------------------|-----------------|----------|-------|
| | SIS 055900-1967 | ISO 8501 | SSPC |
| Jateamento leve | Sa 1 | Sa 1 | SP-7 |
| Jateamento comercial | Sa 2 | Sa 2 | SP-6 |
| Jateamento ao metal quase branco | Sa 2 ½ | Sa 2 ½ | SP-10 |
| Jateamento ao metal branco | Sa 3 | Sa 3 | SP-5 |

Quadro 3 – Padrões de limpeza de superfície de aço preparadas por jateamento abrasivo
Fonte: (FRAGATA, 2009)

- Jato leve: prevê a remoção de carepa de laminação solta, ou não aderente, óxidos e possíveis partículas estranhas não aderentes. A retirada do produto de corrosão situa-se em torno de 5 % e corresponde ao padrão Sa 1. Este padrão não se aplica às superfícies com grau de oxidação inicial A. Para os demais graus de intemperismo os padrões de limpeza são B Sa 1, C Sa 1 e D Sa 1;
- jato comercial: prevê a remoção de, praticamente, toda a carepa de laminação, óxidos e partículas estranhas, em cerca de 50 % da superfície a ser pintada e corresponde ao padrão Sa 2. Após o tratamento a superfície deverá apresentar uma coloração acinzentada. Este padrão não se aplica às superfícies de grau A. Para os demais graus de intemperismo os padrões de limpeza são B Sa 2, C Sa 2 e D Sa 2;
- jato ao metal quase branco: o jato é mantido por tempo suficiente para assegurar a remoção da laminação, ferrugem e partículas estranhas, de tal modo que apenas possam aparecer leves sombras, listras ou descoloração na superfície. Os resíduos são removidos com aspirador de pó, ar comprimido seco e limpo ou escova limpa. Ao final da limpeza 95 % de uma polegada quadrada de área deverão estar livres de resíduos e a superfície deverá apresentar uma tonalidade cinza clara. Para os diversos graus de intemperismo os padrões de limpeza são A Sa 2 ½, B Sa 2 ½, C Sa 2 ½ e D Sa 2 ½;
- jato ao metal branco: é o jateamento abrasivo perfeito, com remoção total de laminação, óxidos e partículas estranhas. Finalmente se faz a remoção dos resíduos com aspirador de pó, ar comprimido seco e limpo ou escova limpa. Após a limpeza a superfície deverá apresentar uma cor cinza de tonalidade muito clara e uniforme, sem listras ou sombras. Para os diversos graus de intemperismo os padrões de limpeza são A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 e D Sa 3.

De acordo com Fragata (2009), a cor do abrasivo influencia na coloração final da superfície. Assim, para um mesmo grau de limpeza, a superfície pode apresentar diferenças na coloração final, em função do abrasivo escolhido. Por esse motivo, é recomendado que se use, na avaliação do grau de limpeza, sempre que possível, os padrões referentes ao abrasivo em questão.

7.2.3. Preparação por meio de hidrojateamento

Processo em que a limpeza da superfície é obtida por meio de água a altas pressões. De acordo com a Norma SSPC-SP12 / NACE Nº 5, o hidrojateamento é classificado em:

- hidrojateamento a alta pressão: a pressão varia de 34 Mpa a 170 Mpa (10000 psi a 25000 psi);
- hidrojateamento a hiperalta pressão: usada para pressões acima de 170 Mpa (25000 psi). Atualmente, existe equipamentos capazes de operar com pressões até 276 Mpa (40000 psi).

Segundo Nunes e Lobo (2007), o hidrojateamento é um método bastante utilizado na preparação de superfície e possui, entre outras, as seguintes características técnicas:

- eficiente na remoção de contaminantes da superfície, em especial os sais solúveis que são, em muitos casos, os responsáveis diretos pela degradação dos revestimentos e corrosão dos substratos;
- não gera pó durante a operação de limpeza e nem produz faíscas;
- não é nocivo ao ambiente e nem prejudicial à saúde;
- não é eficiente para remoção de carepas de laminação e produtos de corrosão muito aderentes;
- possui a desvantagem de não conferir rugosidade à superfície, mas é indicado para casos onde a superfície já possui a rugosidade (como, por exemplo, de processos anteriores de jateamento).

Em relação aos graus de limpeza obtidos pelo hidrojateamento (*water jetting* – WJ), estes são classificados de acordo com a Norma SSPC-SP12 / NACE Nº 5, cujos padrões de limpeza, podem ser:

- hidrojateamento severo (WJ-1): a superfície deve estar limpa de todos os produtos de corrosão previamente existentes, de carepa de laminação, de revestimentos e de materiais estranhos. Deve possuir aspecto metálico fosco;
- hidrojateamento muito elevado (WJ-2): a superfície deve apresentar aspecto metálico fosco com 95 %, pelo menos, de sua área livre dos resíduos visíveis previamente existentes. O restante poderá apresentar manchas suaves, distribuídas aleatoriamente, de oxidação revestimentos ou materiais estranhos;
- hidrojateamento elevado (WJ-3): a superfície deve apresentar aspecto metálico fosco com pelo menos, dois terços de sua área livre dos resíduos visíveis (exceto carepa de laminação) e o restante poderá apresentar manchas suaves, distribuídas aleatoriamente, de produtos de corrosão previamente existentes, de revestimentos ou materiais estranhos;
- hidrojateamento brando (WJ-4): apenas os resíduos (produtos de corrosão, carepa de laminação e revestimentos) não aderentes são removidos da superfície.

7.2.4. Preparação por meio de ferramentas mecânicas e/ou manuais

Esse método é indicado para os casos em que não for possível a utilização do jateamento abrasivo (como, por exemplo, próximo a motores, painéis elétricos e outros equipamentos que possam ser prejudicados pelo pó do abrasivo ou até mesmo pela sua deposição durante a operação de limpeza).

Dentre as ferramentas manuais mais utilizadas, tem-se as lixas, escovas de aço, raspadeiras e martelos de impacto. Em relação às ferramentas mecânicas, tem-se as pistolas de agulha, escovas de aço e lixadeiras rotativas.

Os padrões de limpeza de superfície de aço estabelecidos pelas normas SIS 055900-1967 e ISO 8501, são o St 2 e St 3, que correspondem, respectivamente, aos padrões SP-2 e SP-3 da norma SSPC.

Este método de preparação de superfície não se aplica a superfícies com grau de oxidação A. A seguir, apresenta-se a descrição básica dos padrões de limpeza citados.

- St 2: raspagem com raspadeira de metal duro e escovamento cuidadoso a fim de remover a laminação, óxido e partículas estranhas. Após a limpeza, a superfície deverá ter suave brilho metálico. Para os graus de intemperismo os padrões de limpeza são B St 2, C St 2 e D St 2;

- St 3: raspagem e escovamento com escovas de aço, de modo cuidadoso. Após a limpeza, deverá a superfície apresentar pronunciado brilho metálico. Para os graus de intemperismo, os padrões de limpeza são B St 3, C St 3 e D St 3.

7.3. Especificação dos esquemas de pintura

De acordo com Fragata (2009), a correta especificação do esquema de pintura é, também, um fator importante para se obter a proteção anticorrosiva desejada com uma relação custo/benefício atraente. Dentre os fatores básicos que norteiam a especificação de um esquema de pintura, destaca-se:

- o tipo de substrato a ser revestido (aço carbono, aço galvanizado, alumínio, etc.);
- o tipo de pintura a ser feita (nova, de manutenção, repintura total, etc.). Também deve ser especificado, se além da proteção anticorrosiva, a pintura apresentará outra finalidade;
- as condições prévias do substrato e a complexidade geométrica das estruturas ou dos equipamentos;
- as condições possíveis de preparação de superfície;
- as condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas metálicas.

7.4. Aplicação das tintas

É importante que as tintas sejam aplicadas por profissionais treinados e com experiência nesta área, para que conheçam bem os métodos e as características técnicas das tintas. Se aplicada de forma inadequada, pode resultar na formação de diversos defeitos que contribuirão para diminuição da vida útil do revestimento por pintura.

Os principais métodos de aplicação das tintas são: trincha, rolo, pistola de pulverização convencional, pistola sem ar (*airless spray*), imersão e pintura eletroforética.

7.4.1. Trincha

Um dos métodos mais antigos e difundidos de aplicação de tintas. É uma ferramenta simples e, conseqüentemente, de custo baixo, e não requer grande capacitação do aplicador.

Seguem algumas características do método de aplicação de tintas por meio de trincha, segundo Fragata (2009):

- baixa produtividade, mas eficiente para pintura de estruturas delgadas ou tubulações de pequeno diâmetro em locais sujeitos a muito vento;
- mais indicado para primeira demão de tinta em cordões de solda, reentrâncias, cantos vivos, bordas, arestas e demais acidentes, pois outros métodos podem deixar falha devido à dificuldade de penetração ou à deposição da tinta. As cerdas da trincha permitem que a tinta seja levada às cavidades e regiões de difícil acesso;
- pode ser realizada sem diluição da tinta, o que proporciona elevadas espessuras de película seca;
- independente do pintor, em geral, as películas não apresentam uniformidade em relação a espessura;
- perda de tinta menor que outros métodos;
- não ocasiona *overspray*;

- para não ocorrer o defeito sangramento, deve-se evitar o repasse excessivo da trincha para aplicação de tintas que secam e formam película somente pelo processo de evaporação de solventes;
- não indicado para tintas ricas em zinco a base de silicatos;
- utiliza-se trinchas de até 125 mm de largura para pintura de grandes áreas. As cerdas são, normalmente, de pelos de animais, fibras sintéticas ou vegetais.

7.4.2. Rolo

De acordo com Fragata (2009), é um método tradicional e bastante utilizado para proteção anticorrosiva e possui as seguintes características:

- boa produtividade, podendo ser utilizado em grandes áreas;
- em geral, não conduz à formação de películas com espessuras uniformes e nem se obtém espessuras elevadas, sendo necessária a aplicação de demão adicional para atingir a espessura desejada;
- para não ocorrer o defeito sangramento, deve-se evitar o repasse excessivo da trincha para aplicação de tintas que secam e formam película somente pelo processo de evaporação de solventes;
- não indicado para tintas ricas em zinco a base de silicatos;
- deve ser realizada de forma bastante criteriosa para evitar a formação de espuma ou de bolhas que são prejudiciais à película;
- os mais apropriados são recobertos com lã de carneiro, pois resistem aos solventes orgânicos. A altura da lã pode ser variada e é essa altura, a responsável pelo acúmulo de mais ou menos tintas no rolo. Alturas maiores promovem maior espessura e deixam marcas mais pronunciadas na película, além de aumentarem a chance de se ter bolhas na mesma.

7.4.3. Pistola de pulverização convencional

Segundo Fragata (2009), é um método bastante utilizado no campo da pintura industrial. Apresenta alta produtividade e fornece películas com excelente aspecto visual e espessura uniformes. Porém, deve ser evitado em locais com muito vento, pois há perda excessiva de tinta.

Esse tipo de aplicação deve ser feita por profissionais treinados e com experiência na utilização deste equipamento, pois há a possibilidade de ocorrer, facilmente, defeitos como escorrimento, *overspray*, excesso ou insuficiência na espessura, bolhas, nivelamento deficiente, etc. (FRAGATA, 2009).

Na pintura por pulverização utilizando pistola convencional, a atomização é feita com auxílio de ar comprimido que entra na pistola por passagem distinta da tinta e são misturados e expelidos pela capa de ar, formando leque cujo tamanho e forma são controláveis.

A alimentação da tinta pode ser por sucção, pressão e gravidade. Os mais comuns na pintura industrial são alimentação por pressão (tanques) e por sucção (caneca). A alimentação por sucção, conhecido como pistola de caneca, é feita criando-se vácuo com a passagem de ar comprimido na capa de ar que succiona a tinta contida num recipiente de um quarto de galão e aberto para o exterior. São ideais quando necessita de trocas frequentes de cores e pintura de pequenas áreas. No sistema de alimentação por pressão, a tinta é depositada dentro de um tanque metálico, provido ou não de agitador mecânico e a pressão do ar comprimido faz com que a tinta chegue ao bico da pistola (FRAGATA, 2009).

7.4.4. Pistola sem ar (*airless spray*)

De acordo com Fragata (2009), é o método mais importante e eficiente de aplicação de tintas anticorrosivas. A tinta é pressurizada por meio de uma bomba, acionada normalmente por processo pneumático, e a atomização ocorre devido à súbita descompressão da mesma. Com isso, forma-se um leque formado exclusivamente de tinta. A vantagem do *airless* em relação à pistola convencional é a maior eficiência quanto à rentabilidade da pintura. Além disso, permite a obtenção de películas de alta espessura e evita perdas por *overspray*.

A pistola *airless* não possui regulagem de leque e fluido. Existem bicos de diversos orifícios e leques e, atualmente, os boletins técnicos das tintas informam, para um dado produto, o tipo de bico e a pressão de pulverização mais adequado (FRAGATA, 2009).

7.4.5. Imersão

A peça a ser revestida é mergulhada em um tanque contendo a tinta a ser aplicada. Suas vantagens são: minimização de perdas, resultando em grande economia, facilidade de operação, menor número de operadores e equipamentos e eficiência no recobrimento das peças ou componentes. As desvantagens são: espessura irregular, pois ao retirar a peça do tanque, a tinta pode escorrer pela superfície; tendência a apresentar escorrimentos, principalmente nos pontos onde existem furos; depressões ou ressaltos na peça, prejudicando o aspecto estético; baixa espessura da película.

7.4.6. Pintura eletroforética

O processo de revestimento eletroforético é um dos processos mais importantes e eficientes de aplicação de tintas. É muito utilizado para pintura de automóveis e as tintas são a base d'água, sendo assim uma vantagem bastante relevante em relação ao impacto ambiental.

A peça a ser revestida é mergulhada na tinta e ligada a uma fonte de corrente contínua. Estabelecendo uma diferença de potencial e assim, a tinta é atraída pela peça. Assim, ocorre deposição uniforme em toda a peça, mesmo em locais críticos. A deposição termina quando a resistência da película úmida, que é função da espessura, for tal que impeça a passagem de corrente. Essa quantidade de tinta depositada é determinada pelo equivalente eletroquímico (FRAGATA, 2009).

7.5. Qualidade das tintas dos esquemas de pintura

A qualidade das tintas é um fator muito importante, pois se elas não atenderem aos requisitos contidos nas suas especificações e não resistirem às condições do meio que serão expostas, certamente a proteção anticorrosiva ficará prejudicada. A utilização de tintas de qualidade inadequada ou não conforme com suas respectivas normas técnicas pode conduzir à ocorrência de falhas prematuras nos revestimentos, mesmo que as etapas anteriores tenham sido realizadas de forma correta.

8. CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade, para se prevenir defeitos, é de fundamental importância na aplicação de tintas. Esse controle deve ser realizado antes, durante e após a aplicação da tinta.

8.1. Ações de prevenção de defeitos antes da aplicação

A seguir, serão destacadas algumas ações para prevenção de defeitos, segundo Nunes e Lobo (2007), que devem ser implementadas antes da aplicação de um esquema de pintura a fim de evitar o aparecimento de defeitos durante o controle da qualidade ao final da aplicação.

- explicitação do esquema de pintura;

- qualidade das tintas utilizadas;
- treinamento de capacitação do pessoal;
- elaboração de procedimentos de aplicação;
- elaboração de planos de inspeção;
- calibração dos aparelhos e instrumentos de medição e testes.

8.2. Ações de prevenção de defeitos durante a aplicação

Tem por objetivo avaliar a eventual presença de substâncias contaminantes da superfície, que possam prejudicar suas condições de limpeza ou prejudicar a adesão do esquema de pintura. A seguir, tem-se algumas dessas ações (NUNES; LOBO, 2007).

- avaliação das condições atmosféricas;
- inspeção de recebimento de abrasivos e água;
- inspeção de recebimento de tintas;
- avaliação do grau de limpeza da superfície;
- medição do perfil de rugosidade;
- acompanhamento da mistura, homogeneização e diluição das tintas;
- avaliação do método de aplicação e das espessuras úmidas das tintas.

8.3. Ações de detecção de defeitos

Por mais abrangentes e cuidadosas que sejam as ações de prevenção de defeitos, as ações de detecção de defeitos não podem ser dispensadas. O ideal é maximizar as ações de prevenção para que se possa minimizar as ações de detecção de defeitos.

A seguir, será mostrada uma sequência de ações de controle de qualidade que deve nortear a aplicação de um esquema de pintura, de acordo com Nunes e Lobo (2007).

- avaliação de eventuais falhas das películas de tinta;
- medição das espessuras das películas de tinta;
- teste de adesão das películas de tinta;
- determinação das discontinuidades em películas de tinta.

9. FALHAS E DEFEITOS

O reconhecimento do tipo de defeito encontrado na pintura industrial, a compreensão de sua causa e como corrigi-lo reduzem o custo da manutenção e permitem manter a aparência estética.

A seguir são apresentadas as falhas que ocorrem com mais frequência, de acordo com Qualificação (2009).

9.1. Escorrimento ou descaimento

Descrição: excessiva fluidez da tinta em superfícies verticais, ocorrendo sob a forma de ondas ou gotas.

Causas: excesso de espessura; diluição excessiva da tinta; tixotropia insuficiente.

Correções: antes da secagem, é necessária a remoção do excesso de tinta com trincha ou boneca de pano e modificação das condições de aplicação à pistola. Deve-se usar trincha macia e reformular a tinta. Após a secagem, deve-se lixar e aplicar outra demão.

Observações: o controle da espessura molhada é um dos melhores métodos para evitar esse defeito.

9.2. Espessura irregular (falta ou excesso)

Descrição: falta de uniformidade do filme, fora das tolerâncias médias. As áreas em escassez apresentam pouca cobertura, podendo favorecer a corrosão.

Causas: falta de habilidade do pintor; trincha ou rolo inadequado; pintura a pistola com vento; tinta muito viscosa ou com pouco alastramento; diluição incorreta; falta de controle da espessura molhada; pistola com pulverização espasmódica; superfícies difíceis de pintar.

Correções: antes da secagem, é necessária a remoção do excesso de tinta, com trincha macia, das áreas com excesso e nas áreas em escassez, aplicar outra demão. Após a secagem, deve-se lixar e procurar uniformizar com outra demão. Deve-se modificar as condições de aplicação com pistola.

Observações: no caso de *primer* de zinco, em pequenas áreas, convém remover o excesso com lixamento manual controlado para evitar fendilhamento ou descolamento do *primer* e/ou sistema.

9.3. Manchas ou manchamento

Descrição: o filme apresenta-se manchado.

Causas: contaminação da superfície, dos equipamentos de aplicação ou da área de trabalho; tinta mal misturada; tinta defeituosa; respingos de solvente sobre a tinta fresca ou seca.

Correções: antes da secagem, é necessária a remoção com pano embebido em solvente, aguardar que a área de trabalho fique sem contaminantes, inspecionar os equipamentos de aplicação e homogeneizar a tinta. Após a secagem, aplicar outra demão, caso o problema tenha sido falta de agitação, para os outros casos, remover a pintura.

9.4. Over spray (pulverização deficiente) ou atomização seca

Descrição: superfície sem brilho, áspera, porém o pó da tinta não sai ao contato com os dedos.

Causas: As partículas da tinta quase secas atingem a superfície devido a evaporação muito rápida do solvente; pistola muito distante da superfície; forte calor ambiente; vento; pressão de pulverização muito alta.

Correções: antes da secagem, é necessária a aplicação de um pano com solvente. Após a secagem, lixar e aplicar outra demão, corrigindo eventuais ajustes na pistola e/ou diluição usando solvente mais lento.

Observações: mais comum em tintas de secagem rápida. Também pode ser a causa da porosidade (defeito que será descrito posteriormente).

9.5. Porosidade ou poros

Descrição: A pintura apresenta diminutas descontinuidades em forma de orifícios, invisíveis a olho nu, somente detectável com aparelho.

Causas: oclusão de ar ou solvente no filme; superfície contaminada; atomização deficiente, muito grossa; espessura insuficiente; perfil de ancoragem: rugosidade muito alta; temperatura da superfície muito quente; falta de habilidade do pintor; falta de controle do filme úmido; *over spray*.

Correções: antes da secagem, deve-se corrigir a atomização. Após a secagem, dependendo da extensão, deve-se lixar ou remover a pintura.

9.6. Sangramento ou ressolubilização

Descrição: a pintura apresenta mancha grande, de cor diferente.

Causas: ressolubilização de pintura existente do tipo termoplástica pelo solvente da demão subsequente, independentemente do método de aplicação, quando a demão existente é tinta betuminosa ou derivada que migra para a demão superior; ocorre com aplicação a trincha ou rolo de outro termoplástico, por exemplo, acabamento branco de borracha clorada aplicada à trincha sobre *primer* de borracha clorada vermelho. Devido ao método de aplicação, a ressolubilização causará manchas róseo-avermelhadas no acabamento.

Correções: após a secagem, no caso das betuminosas, remover a pintura, inclusive a betuminosa; no caso de tintas do mesmo tipo, aplicar com pistola em vez de rolo ou trincha.

9.7. Cratera ou craterização

Descrição: Defeito semelhante a pequenas e uniformes crateras que ocorre no filme de tinta e que são formadas de bolhas que após romperem não mais se nivelam.

Causas: oclusão de solvente ou ar durante a aplicação; água no ar de atomização da pistola; superfícies quentes; excessiva atomização: pressão alta; respingo d'água sobre a tinta fresca.

Correções: lixar e aplicar outra demão.

9.8. Impregnação de abrasivos e/ou materiais estranhos ou lixa

Descrição: a superfície fica áspera, arenosa como uma lixa.

Causas: pintura sobre superfícies contaminadas com poeira e/ou grãos de abrasivo; contaminação das superfícies da tinta ainda úmida pelo abrasivo que cai sobre ela; tinta, rolo ou trincha contaminada por areia, terra, abrasivo, etc.; poeira levada pelo vento sobre a tintafresca.

Correções: antes da secagem, é necessária a aplicação de um pano com solvente para remover a pintura contaminada. Após a secagem, dependendo da intensidade, lixar ou remover toda a pintura e aplicar outra demão; limpar o equipamento contaminado; filtrar a tinta contaminada; limpar a superfície antes de pintar; melhorar as condições do canteiro, protegendo a área de pintura contra contaminação.

9.9. Inclusão de pelos

Descrição: a pintura fica impregnada por pelos ou fiapos que podem aflorar, tornando-se visíveis ou ocluídos no seio da pintura, marcando a superfície.

Causas: contaminação da superfície a ser pintada ou ainda com tinta fresca por pelos (fios, fiapos, cabelos, etc.), originados de trinchas, rolos, trapos, panos, etc; pelos levados pelo vento que caem sobre a tinta fresca; tinta contaminada por estes tipos de impurezas.

Correções: antes da secagem, remover as impurezas e retocar. Após a secagem, lixar e retocar as áreas contaminadas; descartar trinchas e rolos defeituosos; limpar os equipamentos contaminados; filtrar a tinta contaminada; limpar as superfícies antes de pintar; evitar uso de estopa; melhorar as condições do canteiro, protegendo a área de pintura contra contaminação.

9.10. Empolamento ou bolhas

Descrição: a pintura apresenta protuberâncias semiesféricas que variam de tamanho e intensidade.

Causas: empolamento seco, ocorre em condições secas; oclusão de solvente ou ar no filme; tintas incompatíveis; superfícies muito quentes. Empolamento com líquido no interior, ocorre em condições de imersão; incompatibilidade com proteção catódica ou excesso de proteção catódica; pintura sobre sal solúvel.

Correções: antes da secagem, remover a pintura com pano e solvente. Após a secagem, dependendo da intensidade, lixar ou remover toda a pintura e aplicar outra demão; drenar e limpar os equipamentos e a superfície contaminados com água; não aplicar tintas incompatíveis entre si nem as que sejam inadequadas para proteção catódica; evitar pintar sobre superfícies muito quentes.

Conclusões e recomendações

O revestimento por pintura é um método de proteção anticorrosiva que apresenta resultados satisfatórios quando realizado de forma correta. A utilização adequada dos revestimentos por tinta, além da questão da redução de custo como resultado da preservação da integridade dos equipamentos e instalações, produz conseqüente aumento da confiabilidade operacional

Recomenda-se entrar em contato com a instituição abaixo indicada para mais informações:

Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO

Av. Venezuela, 27 - Sl. 412/418 -

Centro - Rio de Janeiro

CEP 20081-311

Telefone: (21) 2516-1962

Fax: (21) 2233-2892

Site: <<https://abraco.org.br/>>. Acesso em: 15 março 2022.

Referências

- BARBOSA, V. F. F., Aspectos Eletroquímicos de Sistemas de Pinturas Formulados à Base de Ferrugens Protetoras, 1993. In: SANTOS, Saint-Clair Dantas Oliveira. **Formulação e ensaios de tintas com base na tecnologia de ferrugem protetora para emprego em ambiente antártico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Disponível em: <<https://cupdf.com/document/saint-clairdantasoliveirasantos.html?page=1>>. Acesso em: 15 março 2022.
- CARMO, Carlos Alberto Ramos do. **Conceito de Corrosão**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, [201-?]. Disponível em: <<http://amigonerd.net/exatas/quimica/conceito-de-corrosao>>. Acesso em: 26 abr. 2013.
- FOGAÇA, Jennifer. **Corrosão dos Metais**. [S.l.], [20--?]. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/corrosao-dos-metais.htm>>. Acesso em: 15 março 2022.
- FRAGATA, Fernando de L. **Qualificação para Inspetor de Pintura Nível 1 – Módulo I: A Pintura como Técnica da Proteção Anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2009.
- MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico. **Química Nova na Escola**, n. 19, mai. 2004. Corrosão. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>>. Acesso em: 15 março 2022.
- NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Interciência: Petrobrás, 2007.
- OLIVARI, Giorgio. Patologia em edificações. São Paulo, 83p. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental – Universidade Anhembi Morumbi, 2003. Disponível em: <https://www.academia.edu/12966183/GIORGIO_OLIVARI_PATOLOGIA_EM_EDIF_ICA%C3%87%C3%95ES>. Acesso em: 15 março 2022.
- QUALIFICAÇÃO para Inspetor de Pintura Nível 1 – Módulo V: A Pintura como Técnica da Proteção Anticorrosiva. Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2009.
- QUINTELA, J. P., MATTOS, O. R., MARGARIT, I. C. P. Seleção de Esquemas de Pintura Submetidos à Proteção Catódica por Meio de Impedância Eletroquímica. In: SANTOS, Saint-Clair Dantas Oliveira. **Formulação e ensaios de tintas com base na tecnologia de ferrugem protetora para emprego em ambiente antártico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Disponível em: <<https://cupdf.com/document/saintclairdantasoliveirasantos.html?page=1>>. Acesso em: 15 março 2022.
- SANTOS, Saint-Clair Dantas Oliveira. **Formulação e ensaios de tintas com base na tecnologia de ferrugem protetora para emprego em ambiente antártico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Disponível em: <<https://cupdf.com/document/saint-clairdantasoliveirasantos.html?page=1>>. Acesso em: 15 março 2022.
- TINTA. In: WIKIPEDIA: a enciclopédia livre. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Tinta>>. Acesso em: 15 março 2022.

Identificação do Especialista

Renata Cardoso – Química Industrial e Inspetora de Pintura N1 ABRACO





Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas

www.respostatecnica.org.br