

ESTUDO DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA EM ESTRUTURAS DE AÇO GALVANIZADO DE CARROCERIAS DE ÔNIBUS PARA USO EM AMBIENTES AGRESSIVOS

Alessandro José Büsemayer – Faculdade Anhanguera de Joinville - Unidade 1

Enori Gemelli – Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi de apresentar os principais fatores que influenciam a degradação metálica da estrutura da carroceria de um ônibus, mais precisamente um melhoramento efetuado com o uso de inibidores de corrosão. Os principais aspectos envolvidos no projeto, que estão relacionados ao sistema de proteção são: aspectos visuais, integridade do material e eficiência dos inibidores. O emprego eficiente destes inibidores pode aumentar a longevidade da estrutura e possibilitar sua utilização em diversas regiões do planeta.

ABSTRACT: The objective of this paper is to present the main factors that influence the degradation of metallic body structure of a bus, more precisely an improvement made with the use of corrosion inhibitors. The main issues involved in the project, which are related to the protection system: visual aspects, material integrity and efficiency of the inhibitors. The efficient use of these inhibitors can increase the longevity of the structure and to enable their use in various regions of the planet.

PALAVRAS-CHAVE:

Corrosão, carrocerias de ônibus, inibidores de corrosão, oxidação

KEYWORDS:

Corrosion, bus bodies, corrosion inhibitors, oxidation

Artigo Original

Recebido em: 12/12/2013

Avaliado em: 14/02/2014

Publicado em: 17/06/2014

Publicação

Anhanguera Educacional Ltda.

Coordenação

Instituto de Pesquisas Aplicadas e Desenvolvimento Educacional - IPADE

Correspondência

Sistema Anhanguera de Revistas Eletrônicas - SARE
rc.ipade@anhanguera.com

1. INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais globalizado, as matérias-primas e produtos devem apresentar características que possibilitem sua utilização em diversos lugares. Os produtos podem ser classificados em bem de consumo e bem de capital, sendo os primeiros aqueles utilizados pelo consumidor como televisores, aparelhos de som, motos, móveis, carros, etc.; já os outros são utilizados para gerar riquezas e abrangem as máquinas operatrizes, navios, caminhões, ônibus, etc..

Neste âmbito, ressaltamos o ônibus que transporta cargas e passageiros em férias aos operários até o seu local de trabalho. E é neste contexto de transporte de passageiros e de operários que o ônibus é empregado nos mais diversos serviços e locais. Um ônibus transita de rodovias asfaltadas em regiões urbanas a estradas de chão batido pelo interior do país, operando em regiões tórridas como em países do Oriente Médio ou sendo submetido a temperaturas negativas como nas regiões da Cordilheira Andina. É nesta diversidade de emprego à que uma estrutura de carroceria de ônibus submete-se que a mesma deve atender às expectativas geradas para o seu uso. Ou seja, manter as propriedades e características pelas quais foi produzida.

Dentre uma das piores ações empregadas em detrimento da estrutura de uma carroceria está a ação da degradação metálica, ou seja, a corrosão. Cada projeto, ambiente, aplicação, ou condição de manutenção são aspectos que devem ser levados em conta na conservação da estrutura contra a ação da corrosão. É pelo emprego em condições especiais que a ação corrosiva sobre carroceria pode ser acelerada ou diminuída, o que altera em muito a vida útil desta estrutura.

Nesse trabalho foi estudado o comportamento frente à corrosão de materiais metálicos empregados na estrutura da carroceria de ônibus usados na mina de cobre El Teniente (Chile). O objetivo do trabalho foi de avaliar a corrosão dos materiais expostos ao meio ambiente salino e de estudar a redução da corrosão desses materiais pelo emprego de inibidores de corrosão.

A mina de El Teniente é a maior mina de cobre subterrânea do mundo, iniciando sua produção em 1904 e tendo mais de 2.400 km de túneis. Esta localizada em Rancagua, VI região do libertador Bernardo O'higgins, produz anodos de cobre com uma produção de 400.297 toneladas de cobre fino em 2011 empregando 4.975 pessoas.

El Teniente responde por 10% das reservas mundiais de cobre. Nesta mina o transporte de operários é realizado por ônibus em estradas de chão batido que no verão são secas e empoeiradas e no inverno são cobertas de neve e sal, utilizado para o derretimento do gelo, conforme figura 1.



Figura 1 – Entrada da mina

Fonte: AUTOR (2009)



Figura 2 – Interior da mina – área de concentração de umidade

FONTE: AUTOR (2009)

As condições de uso do ônibus na mina envolvem a presença constante de umidade, sal e óxidos de cobre. Sendo usado no transporte para o interior da mina, os ônibus chegam a percorrer 15 quilômetros dentro da mina, figura 02.

Neste ambiente com características agressivas que a carroceria do ônibus, principalmente a parte inferior da estrutura e nas caixas de roda, sofre um processo constante de degradação. Conforme a figura 3, a umidade em combinação com o sal e os óxidos de cobre proporcionam as condições ideais à formação de corrosão.



Figura 3 – Interior da mina

FONTE: AUTOR (2009)



Figura 4 – Região da caixa de roda

FONTE: AUTOR (2009)

O emprego constante das carrocerias neste ambiente provoca principalmente, na estrutura inferior um processo de acúmulo de substâncias corrosivas; figura 4. Este acúmulo de substâncias corrosivas é potencializado durante o inverno e no degelo, quando há um aumento da umidade e do emprego de sais, sendo que estes acabam arrastados à estrutura pelas correntes que são presas as rodas para auxiliar na tração do veículo. O projeto da carroceria também pode proporcionar condições desfavoráveis à preservação desta, pelos diversos compartimentos, chapas e perfis que podem proporcionar o acúmulo de sais e da umidade.

O produto deste ataque corrosivo é evidenciado na degradação das peças metálicas. As peças mais suscetíveis a este ataque são aquelas que apresentam menores espessuras, como telas, chapas e escapamentos, figura 5. Ainda são propícias à corrosão as peças que sofreram alguma interferência, como as asas de ligação, que apresentam zonas termicamente afetadas (ZTA) na região de soldagem, figuras 6 a 8.



Figura 5 – Corrosão do escapamento

FONTE: AUTOR (2009)

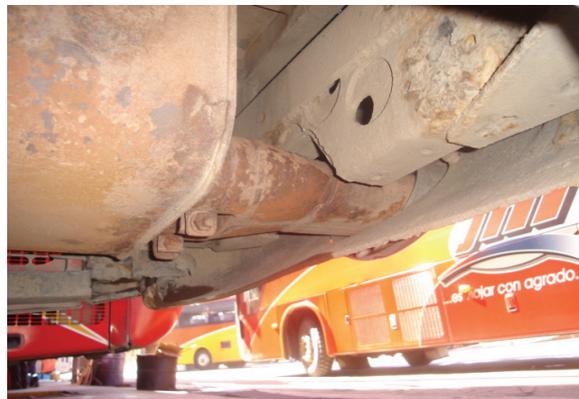


Figura 6 – Corrosão da ligação com chassis

FONTE: AUTOR (2009)

As longarinas do chassi, as chapas e tubos de ligações que tem suas propriedades modificadas ao longo do processo de confecção da carroceria. Confeccionadas em chapa preta estes componentes, que sofrem alterações no encarroçamento.



Figura 7 – Suporte da suspensão

FONTE: AUTOR (2009)



Figura 8 – Corrosão da estrutura

FONTE: AUTOR (2009)

O ataque agressivo a estas peças é comprovada nas figuras 5 a 8, que contemplam uma carroceria nova com aproximadamente seis meses de trabalho. Devido ao exposto, sobre a corrosão da estrutura da carroceria de um ônibus em operação em minas de cobre, há a necessidade de promover a longevidade das peças e componentes da carroceria com o emprego de uma pintura anticorrosiva.

1.1. Corrosão

A maioria dos materiais apresenta alguma forma de degradação, uma atmosfera agressiva gera a necessidade de proteger as estruturas e os equipamentos de aço carbono já que

estes não possuem resistência à corrosão, para isto é comum à utilização de tintas de alto desempenho em seus revestimentos (GENTIL, 1987).

A corrosão pode ser definida, segundo Ramanathan (2004) “... como a reação do metal com os elementos do seu meio, na qual o metal é convertido a um estado não metálico. Quando isto ocorre, o metal perde suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade e o produto de corrosão formado é extremamente pobre em termos destas propriedades. (RAMANATHAN, 2004, p. 17)”

Em geral, a corrosão age sobre a superfície do metal e estabelece uma relação entre o metal, o meio em que atua e o produto da corrosão, que também pode influir substancialmente no processo corrosivo. Essa reação consome o metal e leva finalmente até a destruição da peça, desde que esta deixe de cumprir a sua finalidade de uso, seja pela redução de suas dimensões, seja pelas mudanças na sua estrutura, na sua composição ou no seu aspecto externo. (FURTADO, 2010, p. 3).

Conforme Furtado (2010),

“o controle ou prevenção da corrosão baseia-se em quatro argumentos, que são: impedir o contato entre metal e o meio corrosivo; modificar um dos reagentes: o metal, tornando-o resistente ao meio; ou o meio corrosivo, tornando-o pouco ou nada agressivo ao metal; em meios corrosivos úmidos, aplicar uma corrente elétrica que torne o metal resistente à ação do meio (princípio eletroquímico); e projetar a peça ou objeto de modo que a ação do meio corrosivo seja minimizada e proteção usada seja a mais eficiente possível. (FURTADO, 2010, p. 4)”

1.2. Aspectos Eletroquímicos da Corrosão em Metais

A corrosão é uma reação de interface irreversível em que ocorrem reações de oxidação e redução entre o metal e um agente oxidante (HEUSLER et al, 1989 apud GEMELLI, 2001). Por exemplo, a reação do ferro com o ácido clorídrico é um exemplo ilustrado na figura 9 (GEMELLI, 2001)

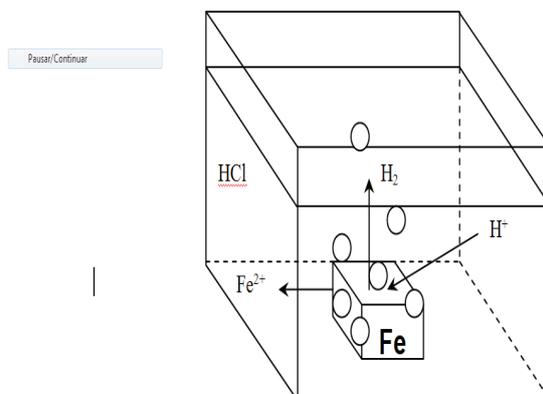


Figura 9: Corrosão do ferro em meio ácido.

FONTE: GEMELLI (2001).

Esta reação pode ser representada da seguinte maneira:



Generalizando, tem-se a reação:

Agente redutor + agente oxidante \rightarrow produto de corrosão + oxidante reduzido

Devido ao fato dos íons cloretos não participarem diretamente da reação, esta equação pode ser simplificada:



Para Gemelli (2001), a reação química envolve então transferência de cargas na interface material/solução, ou seja, transferência de cargas entre um condutor eletrônico, chamado eletrodo, e um condutor iônico (eletrólito). Esse tipo de fenômeno é chamado de reação eletroquímica, sendo responsável pela corrosão de materiais metálicos em meios úmidos condutores.

Assim a Reação [2] é uma reação eletroquímica; cada átomo de ferro que se dissolve na solução (eletrólito) gera elétrons na interface do eletrodo, permitindo a redução do hidrogênio. (GEMELLI, 2001, p.5).

2. PROTEÇÃO DA ESTRUTURA DA CARROCERIA DE ÔNIBUS

Na estrutura de uma carroceria de ônibus se utiliza os mais diversos processos para a proteção anticorrosiva, desde a seleção da matéria-prima; geralmente tubo e chapa de aço galvanizado; e a escolha da pintura com primer anticorrosivo galvânico ou pintura protetiva para chassis.

Em um tubo galvanizado, a camada de zinco atua como anodo de sacrifício e isola o substrato do meio corrosivo formando uma proteção anódica (GENTIL, 2002).

Já a pintura com primer anticorrosivo ou a pintura protetiva para chassis criam uma barreira que isola o substrato evitando a formação de corrosão galvânica, evitando o contato do substrato com substâncias que atuariam como um eletrólito na reação corrosão.

A galvanização do aço consiste na aplicação de uma camada superficial de zinco ao produto, para conferir-lhe uma proteção contra corrosão. Para Pinhão (2000), existem dois processos para a produção dos aços galvanizados:

a eletro galvanização ou galvanização eletrolítica, um processo no qual o zinco é transferido de um anodo para a chapa de aço negativamente carregada. Como o uso de equipamentos eletrointensivos e aplica a camada de zinco em apenas uma das faces da chapa de aço (PINHÃO, 2000); e

a galvanização por imersão a quente, que consiste na passagem da peça de aço por um banho de zinco fundido, revestindo-se as duas faces da chapa. Neste processo o controle da espessura se dá por meio da velocidade de passagem do aço no banho quente, da temperatura do forno e de um jato de nitrogênio após o banho. Por apresentarem uma aplicabilidade semelhante, os produtos de ambos os processos competem pelo mesmo mercado. (PINHÃO, 2000)

Contudo o processo mais difundido é o de imersão a quente.

2.1. Processo de Galvanização a Quente em Banho de Zinco

O revestimento galvanizado apresenta algumas características: inicialmente ocorre a homogeneização da temperatura da peça com o banho, seguida da aderência de liga de zinco-ferro; a espessura da camada de zinco depende da temperatura, entre 440 – 480°C, e do tempo de banho, em geral de 1 a 2 minutos; seguindo estes parâmetros a espessura de película será de cerca de 600-700g/m²; apresentam camada de zinco-ferro e zinco puro de composição igual ao banho. (GENTIL, 1987)

Ramanathan (2004) descreve a imersão a quente como, “um processo no qual o substrato é imerso em banho fundido do metal de revestimento.” Ainda segundo Ramanathan (2004): “Os quatro principais estágios da imersão a quente são pré-tratamento, escorificação, imersão a quente e pós-tratamento.”

1. O *pré-tratamento* inclui desengraxe, decapagem e enxaguamento.
2. A *escorificação* é o processo de aplicação de sais (fundentes) sobre a superfície metálica que, quando fundidos, dissolvem qualquer óxido que possa estar presente sobre o substrato, produzindo, portanto, uma superfície completamente limpa.
3. A *imersão a quente*, como o próprio nome sugere, consiste de imergir o material em um banho fundido de metal de revestimento. Dependendo da natureza do substrato (chapas finas bobinadas ou componente pequenos), a imersão pode ser contínua ou em bateladas. Imediatamente após imersão, o substrato e o metal de revestimento fundido reagem, produzindo uma camada de liga. A espessura da camada de liga aumenta com o tempo de imersão e a temperatura do banho. Quando o substrato é removido do banho, carrega com ele uma camada de metal líquido, cuja espessura varia com a viscosidade do líquido e a rugosidade da superfície que está sendo revestida.
4. O *pós-tratamento* inclui processos para reduzir a espessura do metal fundido que adere ao metal que está sendo revestido, o que é feito usando-se cilindros de nivelamento, por esfregamento ou por outros meios. Outros processos de pós-tratamento são tratamento com cromato, fosfatização, recozimento de peças revestidas com zinco, para converter o revestimento inteiro em uma camada de liga, anodização de materiais aluminizados e outros. (RAMANATHAN, 2004, pg 232)

Segundo Gentil (1987), “a galvanização é um sistema com boa resistência à corrosão, sendo essa a principal razão de seu emprego, representando mais de metade do consumo mundial de zinco”.

3. INIBIDORES DE CORROSÃO

O impacto da corrosão na estrutura da carroceria de ônibus é fato e não pode ser desprezada, contudo esta degradação pode ser reduzida; segundo Callister (2006) “pela seleção de matérias-primas, alterações das condições de projeto e no ambiente, uso de revestimentos e a proteção catódica.”

Na seleção de matérias-primas a composição destas interfere na resistência a corrosão, para Callister (2006), “... inibidores são substâncias que, quando adicionadas ao ambiente em concentrações relativamente baixas, diminuem sua corrosividade. (Callister, 2006, p.521)

Existem diversos mecanismos para evitar a corrosão com o uso de inibidores na matéria-prima para Bohnsack (1986) citado por Mosayebi, Kazemeini, Badakhshan e Safekordi (2002), há “dois tipos de inibidores de corrosão pode se distinguir de acordo com as características das camadas de proteção formadas nos substratos, incluindo a inibição por interface, e de superfície.”

Ainda para Bohnsack (1986) citado por Mosayebi, Kazemeini, Badakhshan e Safekordi (2002), a “inibição por interface” ocorre quando o inibidor é adsorvido sobre o metal de substrato e forma uma camada monomolecular, já a inibição de superfície pressupõe que uma camada mais espessa de inibidor é formada entre o substrato e o eletrólito corrosivo.”

Mosayebi, Kazemeini, Badakhshan e Safekordi (2002) afirmam que “a adição de zinco a polifosfatos não gera nenhuma mudança significativa no comportamento inibidor, mas acelera consideravelmente a formação e reparação de uma película de proteção.”

Contudo o uso de barreiras físicas entre o substrato e o meio corrosivo representa a técnica de proteção anticorrosiva mais utilizada. Para Furtado (2010) “a interposição de uma barreira física entre o metal a ser protegido e o meio corrosivo é, sem dúvida, o processo mais importante e o mais extensamente usado para se prevenir e evitar a corrosão de peças e equipamentos feitos com metais. (Furtado, 2010, p. 13)

Ainda segundo Furtado (2010) os revestimentos podem ser agrupados em quatro tipos: Revestimentos Metálicos, pela formação de liga com o metal base ou continuidade da ligação metálica; Revestimentos Inorgânicos, ataque de substâncias inorgânicas que formam camadas protetoras; Revestimentos Cerâmicos, aplicados a metais já preparados; e Revestimentos Orgânicos, os mais utilizados pela facilidade de aplicação e versatilidade, engloba as tintas, vernizes, esmaltes, lacas e certos óleos aditivados.(FURTADO, 2010, p. 13). O quadro 1, apresenta as características que uma pintura anticorrosiva deve conter.

Quadro 1: Principais Características que uma Pintura Deve Apresentar

Características Indispensáveis	Outras características desejáveis
	Poder de cobertura
Quimicamente inertes	Estabilidade
Contínuas	Beleza
Aderentes	Durabilidade
Boas propriedades mecânicas	Secagem e cura convenientes
Espessura conveniente	Facilidade de aplicação
Impermeáveis	Economia
	Facilidade de reparo e manutenção

FONTE: Furtado(2010), p 15

3.1. Revestimentos com Resinas Epóxi

Como já descrito anteriormente os revestimentos são aplicados sobre os metais com o objetivo de criar uma barreira entre estes e os meios corrosivos. O material utilizado na proteção da estrutura de uma carroceria é o primer anticorrosivo galvânico a base de resina epóxi modificada. Resinas epóxi são segundo Gentil (2009, p.261),

“... polímeros obtidos por condensação e podem ser preparados com estrutura e pesos moleculares predeterminados, obtendo-se resinas sólidas e líquidas. Estas resinas podem ser descritas como sistemas de estufa, onde a formação dos polímeros é induzida por calor; ou sistemas de dois componentes, onde a formação dos polímeros é devido à reação entre dois componentes, uma resina epóxi e um catalisador, sendo a cura em temperatura ambiente. (GENTIL, 2009)

Ainda segundo Gentil (2009) as resinas epóxi apresentam boas propriedades de aderência, resistência química, resistência à abrasão e ao impacto; tendo aplicação em tintas de fundo ricas em zinco, apresentando alto desempenho em atmosferas de alta agressividade

4. MÉTODO EXPERIMENTAL

As amostras de chapa de aço utilizada nos ensaios foram do tipo ZAR 230, cuja composição e as propriedades estão descrita no quadro 2.

Quadro 2 - Composição química e propriedades mecânicas do aço zincado ZAR 230

Norma Técnica	Grau	Composição Química			Propriedades Mecânicas				
		(% máxima)			Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento		
		C (máx)	P (máx)	S (máx)			Espessura (mm)	Base de Medida (mm)	Valor Mínimo (%)
NBR 10735	ZAR 230	0,20	0,04	0,04	230	310	Qualquer	50	22

FONTE: CSN “Aço na Construção Civil” Disponível no site: http://coral.ufsm.br/decc/ECC8058/Downloads/Aco_na_Construcao_Civil_CSN.pdf, acessado em 15/03/2013

Os corpos de prova foram dimensionados com áreas mínimas de 100 cm², subdivididos em corpos sem pintura anticorrosiva, e com pintura anticorrosiva sendo esta com uma e duas camadas de tinta.

A pintura utilizada foi um primer anticorrosivo galvânico, Bi-componente, a base de resina epóxi modificada. Este produto apresenta segundo boletim técnico do fabricante, excelente proteção anticorrosiva e aderência sobre o aço galvanizado. O quadro 3 apresenta as propriedades deste primer.

Quadro 3 – Propriedades do primer anticorrosivo galvânico

Cor	Componente B		Brilho/Aspecto
Verde	Wegpoxi Galvânico Eletrostático Componente B – 11009973 (100,0 L)		Ultra Fosco
Relação da Mistura	Viscosidade Original	Sólidos por Volume	Vida útil da Mistura
2A X 1B em volume	75 ± 3" (CF4)	21 ± 3%	8 horas a 25°C
OBS Quanto mais alta a temperatura a vida útil da mistura é reduzida. Validade 12 meses			
Método de aplicação	Espessura por camada de pintura	Rendimento teórico	
Pistola Convencional, Pistola Airless, Pistola Eletrostática e Trincha	30 – 40 micrometros seco.	6,0 m ² /litro na espessura de 35 micrometros seco. Sem considerar os fatores de perda na aplicação.	
Resistência ao calor seco			Resistividade
Temperatura máxima 90°C. Revestimentos orgânicos podem sofrer alterações de cor, brilho e aderência quando expostos em temperaturas superiores aos 90°C.			Mínimo 25 Mega Ohms/cm

FONTE: WEG Boletim Técnico "Wegpoxi Galvânico Eletrostático Bicomponente" Disponível no site: <http://ecatalog.weg.net/files/weg-net/WEG-wegpoxi-galvanico-eletrostatico-bicomponente-boletim-tecnico-portugues-br.pdf>, acessado em 18/03/2013

Com espessura média de camada variando de 28,4 micrômetros para uma camada à 43,6 micrômetro para duas camadas, nas peças pintadas, procedemos os testes em máquina de ensaio de névoa salina ou teste de salt-spray.

4.1. Ensaio de Névoa Salina (*Salt-spray*)

O ensaio de névoa salina ou *salt spray* consiste no envolvimento dos corpos de prova em uma atmosfera salina com 5% de sal, que em temperatura controlada é pulverizada sobre as peças, em máquina especialmente construída para este propósito, a figura 10 exemplifica um modelo de máquina de ensaio por pulverização de sal.

Sendo um processo de pulverização constante as peças permaneceram úmidas durante todo o teste. O teste objetiva identificar o início da oxidação e a progressão desta em relação ao tempo.

O teste em questão utilizou a norma NBR 8094 – Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina, e na ASTM B 117 – *Salt Spray Testing*.



Figura 10: Máquina de teste da corrosão do pulverizador de sal

FONTE: BBOSCH "Galvanização a fogo" Disponível no site: http://pt.made-in-china.com/co_haidaequipment/product_Salt-Spray-Corro-

Segundo a Galvinfo Center (2011): “O propósito do ensaio de corrosão acelerada é duplicar em laboratório o desempenho perante corrosão em campo de um produto. Ele proporciona aos cientistas e engenheiros meios de rapidamente desenvolver novos produtos.” (Galvinfo Center – disponível no site: http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/GalvInfoNotes/GalvInfoNote_3_4.pdf, acessado em 16/06/2013).

Ainda segundo a Galvinfo Center (2011), o tempo aproximado para 5% de ferrugem vermelha por micrômetro de espessura de revestimento para aço galvanizado (zincado) em teste de névoa salina, é de 10 horas.

Os corpos de prova foram submetidos a 20 horas de ensaio em câmara de névoa salina.

As empresas utilizam os ensaios de névoa salina, como meio de referência correlacionando o tempo de ensaio em câmara de névoa salina com o tempo de exposição ao meio atmosférico. Esta relação compara 240 horas em câmara de névoa salina à 5 anos de exposição em campo.

Esta correlação tem um caráter apenas comparativo, pois em campo não ocorrem as mesmas condições de concentração de sais, úmida e temperatura.

Contudo o ensaio representa um excelente meio de correlacionar corpos de prova com características diferentes, como por exemplo, peças com e sem pintura ou com diferentes camadas de tinta. Neste teste foram avaliados o aspecto visual, a integridade da peça e a eficiência do inibidor com diferentes camadas de pintura.

4.2. Preparação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados a partir de uma bobina de chapa galvanizada, em dimensões não menores que 100 cm², foram submetidos à limpeza com solvente de limpeza e álcool isopropílico, e pintura com primer anticorrosivo galvânicos. Após a cura da tinta os mesmos foram posicionados na máquina de *salt spray*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de prova foram avaliados antes do início do teste, e com o decorrer do tempo de teste, foram analisados quanto aos critérios definidos de aspecto visual, integridade da peça e eficiência do inibidor. A seguir serão apresentados os resultados sobre os critérios analisados e o verificado nos corpos de prova.

5.1. Corpos de Prova sem Pintura Anticorrosiva

O corpo de prova sem pintura anticorrosiva apresentou no dia 0, conforme figura 18,

aspecto limpo e a superfície zincada íntegra.

Nos dias 3 e 6, conforme as figuras 11 e 12 observou-se a formação de oxidação branca ao longo da superfície do corpo de prova, o que demonstra que está ocorrendo o sacrifício da camada de zinco.

Este processo ocorre porque o zinco e o aço formam uma pilha galvânica onde, o aço age como um cátodo e o zinco como um ânodo. Esta oxidação branca é a formação de hidróxido de zinco. As camadas de zinco em contato com a umidade formam pilhas e a reação é a formação deste hidróxido.

Ocorreu ainda a formação de oxidação vermelha que se originou na região do furo utilizado para o posicionamento da peça na máquina. Esta região não está protegida pelo zinco, pois ocorreu a remoção do material para confecção do furo.



Figura 11 – Dia 0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 12 – Dia 3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 13 – Dia 6

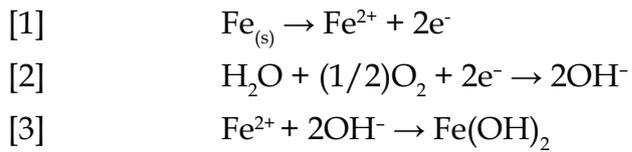
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

Observa-se que não houve um ataque tão agressivo nas bordas da peça como na região do furo, embora estas também não apresentassem a proteção do zinco.

Este fator pode ser explicado por duas razões; a primeira é que o zinco oxida-se mais rapidamente que o aço, originando um carbonato duro, este processo também ocorre nas bordas da peça onde há uma migração do zinco e a proteção da borda; em segundo podemos observar que outro material está envolvido na análise, pois o corpo de prova foi posicionado na máquina com um arame e este atuou com um terceiro elemento gerando uma diferença de potencial acelerando o processo de oxidação.

Ao longo dos dias 13, 15 e 20, conforme as figuras 14,15 e 16, a uma progressão generalizada da oxidação branca e uma acentuada da vermelha.

A oxidação vermelha caracteriza a degradação do ferro. Neste processo primeiramente ocorre a formação do hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) [3], pela oxidação do ferro na presença de oxigênio (O_2) e água (H_2O) tendo como produto a formação de cátion ferro [1] e a redução do oxigênio dissolvido na água [2].



Este hidróxido ferroso em presença de oxigênio oxida formando o hidróxido de ferro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) [4]. Este por sua vez ao perder água forma o óxido de ferro III monohidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [5].

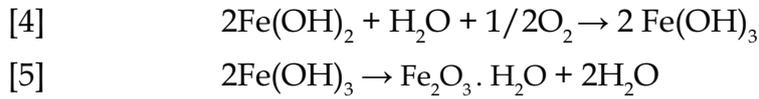


Figura 14 – Dia 13

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 15 – Dia 15

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 16 – Dia 20

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

A figura 17 representa em detalhe as regiões mais afetadas onde a oxidação vermelha modificou o aspecto visual e afetou a integridade da peça. Esta oxidação levou à perda de massa e prejuízo às propriedades do material.

Contudo considerando o parâmetro de “240 horas” o zinco mostrou uma boa resistência a corrosão.

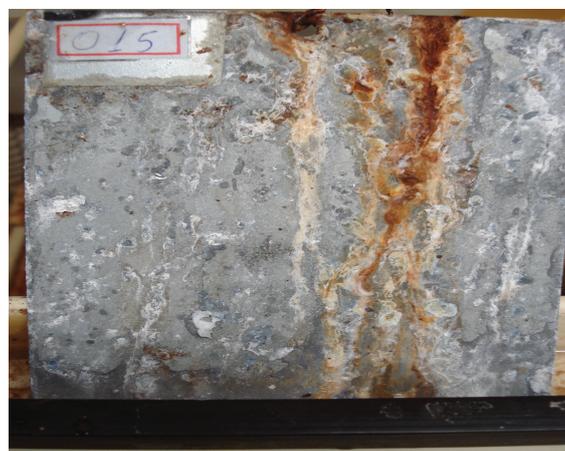


Figura 17 – Detalhe das regiões mais afetadas no corpo de prova no vigésimo dia

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

5.2. Corpos de Prova Com Pintura Anticorrosiva – Uma Camada

O corpo de prova com uma camada de pintura de primer anticorrosivo galvânico apresentou no dia 0, conforme figura 18, aspecto limpo e a superfície pintada uniforme, identificando o risco feito na região central do corpo de prova.

Nos dias 3 e 6, conforme as figuras 19 e 20 observou-se que não houve a formação de oxidação branca na superfície do corpo de prova, o que demonstra que está havendo a inibição do processo de oxidação. Este processo ocorre porque a pintura age como uma barreira entre o eletrólito e o metal. Ocorreu ainda a formação de oxidação vermelha na região do furo. Esta região não está protegida pelo zinco.



Figura 18 – Dia 0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 19 – Dia 3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 20 – Dia 6

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

Na borda superior da peça assim como a região do furo, houve a presença de oxidação vermelha; as demais bordas da peça não apresentaram oxidação. Este aspecto se explica pela proximidade da borda superior com o bico de pulverização da névoa salina, sendo esta região sempre a mais úmida.

Outro fator importante é a presença do arame que, como comentado anteriormente, influencia na corrosão galvânica.

As demais bordas não apresentaram oxidação pela migração do zinco e pela tinta que durante o processo de pintura também acabou borrifada nesta área.

Ao longo dos dias 13, 15 e 20, figuras 21, 22 e 23, ocorreu uma pequena progressão na oxidação vermelha nas regiões comentadas anteriormente. Contudo a superfície pintada não sofre alteração, importante ressaltar que o risco efetuado na região central da peça não apresentou oxidação.

Este detalhe pode ser justificado pela pequena região do risco que é protegida pela pintura e abaixo desta pela migração do zinco com a formação da camada de proteção.



Figura 21 – Dia 13

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 22 – Dia 15

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 23 – Dia 20

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

5.3. Corpos de Prova Com Pintura Anticorrosiva – Duas camadas

O corpo de prova com duas camadas de pintura apresentou no dia 0, conforme figura 24, aspecto limpo e a superfície pintada uniforme, identificando o risco feito na região central do corpo de prova.

Nos dia 3 e 6, figuras 25 e 26, observou-se que não houve a formação de oxidação branca na superfície do corpo de prova.

Ocorreu uma pequena formação de oxidação vermelha que se origina na região do furo. Esta oxidação foi muito menor que a registrada nos corpos de prova uma camada de tinta e no corpo de prova sem pintura. Isto se justifica pelas duas aplicações de pintura que acabam recobrando a região do furo. Este recobrimento age com um inibidor, uma barreira, independente da presença de zinco, entre o metal, o arame e o eletrólito.

Observa-se que não houve oxidação na superfície do corpo de prova na região recoberta pela tinta. Nem uma das bordas da peça apresentou oxidação branca ou vermelha; apenas a região do furo apresentou oxidação vermelha. Este aspecto se explica pela a presença do arame.

As demais bordas não apresentaram oxidação pela migração do zinco e pela dupla camada de tinta que durante o processo de pintura também acabou borrifada nesta área.



Figura 24 – Dia 0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 25 – Dia 3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 26 – Dia 6

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

Ao longo dos dias 13, 15 e 20, conforme as figuras 27, 28 e 29; ocorreu uma progressão na oxidação vermelha na região do furo. Porém a superfície pintada não sofreu alteração, sendo importante ressaltar que neste corpo de prova também não ocorreu oxidação no risco efetuado na região central da peça.



Figura 27 – Dia 13

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 28 – Dia 15

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)



Figura 29 – Dia 20

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2013)

6. CONCLUSÃO

A empresa de mineração é uma entidade complexa, envolvendo matéria-prima, processos, pessoas e tecnologia, inter-relacionadas através de um conjunto de fatores internos e externos à empresa. O processo de transporte de pessoas deve se caracterizar por um conjunto de serviços que prestados justifiquem os investimentos em modernização e melhoria do desempenho da empresa.

Neste contexto uma carroceria de ônibus deve manter a integridade de sua estrutura e a propriedades de seus componentes. Em um ambiente de mudanças contínuas, onde os padrões de utilização de uma carroceria se tornam cada dia mais exigentes, o planejamento da manufatura para garantir a longevidade de seu produto frente à agressividade da corrosão deixa de ser um evento isolado e para se tornar um processo contínuo.

As vantagens que o uso dos inibidores de corrosão integrados, dentro de um ambiente de desenvolvimento de produto e escolha de matéria-prima, proporciona ao projeto aspectos relativos a 3 (três) itens específicos: qualidade, durabilidade e proteção.

Verificou-se nos ensaios que a variação entre uma ou duas camadas de pintura não apresentaram grande ganho de proteção. Em um processo industrial a redução de uma aplicação de pintura significa o ganho de tempo, que está relacionado com a duplicação de tarefas. E por último, mas não menos importante, foi à identificação de que uma camada de primer anticorrosivo galvânico sobre uma peça galvanizada oferece uma proteção tal qual uma peça com duas aplicações. Este fator implica em redução de custo sem a perda da garantia do produto. Porém fica evidente a necessidade de dar atenção ao desenvolvimento de novos projetos onde cuidados quanto à confecção das peças e conjuntos, definição das montagens e escolha da matéria-prima; devem levar em conta a degradação por corrosão.

Embora o uso de sistemas combinados de proteção seja utilizado encontramos dificuldades em mensurar os efeitos causados pela exposição da carroceria de um ônibus em ambiente agressivo.

Os ensaios realizados apresentam uma direção, porém não dão uma certeza, haja visto que as condições de operação das carrocerias apresentam diversos fatores que viram a influenciar na sua longevidade. Nesse aspecto, o uso de ações preventivas, como o emprego de pintura protetiva, será sempre de fundamental importância.

NBR 8094 – Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, vol. 02.05, Philadelphia, 2002- Método ASTM B 117-02, Standard Test Method of Salt Spray (Fog) Testing”.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8094:1983. Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina; Rio de Janeiro, 1983.

CALLISTER, William D.. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais, 2ª ed. Rio de Janeiro, LTC. 2006

FURTADO, Paulo. Pintura Anticorrosiva dos Metais. Rio de Janeiro, LTC, 2010.

GEMELLI, Enori. Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

_____. Corrosão. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MOSAYEBI Behrouz, KAZEMEINI Mohammad, BADAQSHAN Amir, SAFEKORDI Aliakbar. Modelling of the effect of operational parameters and concentration of some corrosion inhibitors on the corrosion of carbon steel, *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 2002, Vol. 49 Iss: 6 pp. 426 - 432

PINHÃO, Caio Marcio M.. Aços galvanizados para a indústria automobilística, BNDES, 2000.

RAMANATHAN, Lalgudi V. Corrosão e seu controle. São Paulo: Hemus, 2004.