

SISTEMA DUPLEX, A SINERGIA ZINCO/TINTA



Um estudo, de processo a componentes e aplicabilidade, sobre o sistema que permite maior durabilidade ao aço galvanizado

CELSO GNECCO

Engenheiro Químico com Pós-Graduação em Corrosão, Polímeros, Papel & Celulose e Refinação de Petróleo, pela Escola Politécnica da USP. Escritor e professor de diversos cursos sobre pintura e corrosão. celso.gnecco@uol.com.br

ABSTRACT

This article discusses the subject of hot-dip Galvanized Painting and shows that the Painting does not compete with galvanization, but complements. When there is a need for colors for aesthetic reasons or to identify, to signal and mainly to increase the durability of carbon steel structures in aggressive environments, hot-dip galvanized steel painting is the best technical, economical and safety solution.

It is shown that only hot-dip galvanized is already a great solution in any environment and that the paint greatly increases the performance of this corrosion protection.

Some important concepts are addressed, such as the anodic behavior of zinc, the functioning of cathodic protection in the association of zinc with steel and why zinc is longer in relation to steel in various environments. This Zinc/Coating System is called Duplex.

It explains how Synergy works in the Duplex System and how it is the mechanism that makes zinc painted last longer than the same paint on carbon steel.

Some of the paints that are normally used on hot galvanized, such as: Wash primer, Epoxy-Isocyanate, Solvent free Epoxy, Acrylic water based and Polyurethanes and why Alkyd paints does not work well on galvanized steel.

The Hot-dip Galvanized Paint Systems according to ISO 12944 are also addressed and finally considerations about what is the best occasion to paint galvanized steel

RESUMO

Este artigo aborda o assunto Pintura de Galvanizado a Quente e mostra que a pintura não compete com a galvanização, mas a complementa. Quando há necessidade de cores por motivos estéticos ou para identificar, para sinalizar e principalmente para aumentar a durabilidade das estruturas de aço carbono em ambientes agressivos, a pintura em galvanizados a quente é a melhor solução técnica, econômica e de segurança. É mostrado que somente o galvanizado já é uma grande solução em qualquer ambiente e que a pintura aumenta muito o desempenho dessa proteção anticorrosiva. São abordados alguns conceitos importantes, como o comportamento anódico do zinco, o funcionamento da proteção catódica na associação do zinco com o aço, e o porquê da maior durabilidade do zinco em relação ao aço em vários ambientes. Este Sistema Zinco/Tinta é chamado de Duplex. É explicado como funciona a sinergia no Sistema Duplex e como é o mecanismo que faz com que a pintura sobre zinco dure mais do que a mesma pintura sobre o aço carbono. São ainda mostradas algumas das tintas que normalmente são utilizadas sobre o galvanizado a quente, como: Wash primer, Epóxi-isocianato, Epóxi sem solventes, Acrílica base água, e Poliuretânicas, e por que a tinta Alquídic não funciona sobre revestimentos de zinco. Por fim, também são abordados os Sistemas de Pintura sobre Galvanizados segundo a norma ISO 12944 e, finalmente, considerações sobre qual é a melhor ocasião para se pintar o aço galvanizado.

1 – INTRODUÇÃO

Se a galvanização a quente já é, por si mesma, uma grande proteção anticorrosiva, então por que pintá-la? Pelo menos, dois motivos justificam a pintura de galvanizados:

- a) a necessidade de cores para a estética, identificação ou sinalização, e
- b) a necessidade de máxima durabilidade em ambientes agressivos.

Somente a camada de zinco depositada é suficiente para proporcionar muitos anos de vida útil ao aço carbono. No gráfico abaixo, extraído do Manual de Galvanização do ICZ (1), pode-se observar o comportamento da galvanização em diversos meios.

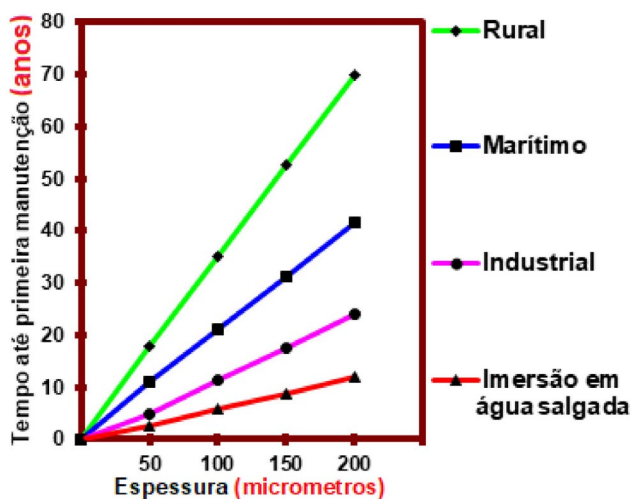


Gráfico: Comportamento da galvanização em diversos meios

Massa/Área	Espessura
g/m ²	µm
355	50
710	100
1065	150
1420	200

Tabela elaborada com base na norma ABNT NBR 7399 (2) (massa específica do zinco: 7,14 g/cm³)

Através do gráfico é possível estimar o tempo de duração das galvanizações a quente porque a camada é uniforme e constituída preponderantemente por zinco, sendo o desempenho da proteção, função exclusivamente da espessura e da agressividade do meio ambiente. Observa-se também que a mesma espessura da camada de zinco (ex.: 100 µm) exposta a um ambiente industrial, e que dura cerca de 10 anos para sofrer desgaste significativo, pode durar quase 35 anos quando exposta a um ambiente rural (sem poluição e sem névoa salina).

2 – CONCEITOS IMPORTANTES

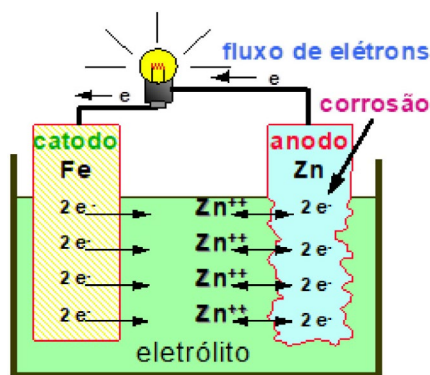
2.1 Comportamento anódico do Zinco

A deposição de zinco por galvanização a quente é uma das formas mais utilizadas de proteção contra a corrosão do aço. Em clima úmido, o tipo de corrosão mais importante é o provocado por processos eletroquímicos. Quando dois metais diferentes são colocados em contato com um líquido condutor de eletricidade, chamado de eletrólito,

to, forma-se a pilha galvânica e o metal mais eletronegativo, o Anodo, menos nobre, cede elétrons para o outro, o Catodo, mais nobre, que tem carência de elétrons. O metal mais eletronegativo cede os elétrons e, com isso, libera íons para o eletrólito. A conversão do metal a íons faz com que ele se desagregue (sofra corrosão). Já o que está recebendo os elétrons, o Catodo, permanece intacto.

No desenho abaixo, os elétrons fluem através do fio metálico; a prova disso é que a lâmpada se acende. No eletrólito, o transporte de cargas elétricas se realiza por meio de íons (sais, gases ou ácidos dissolvidos na água).

No caso do par bimetálico zinco/ferro, o zinco é o anodo e o ferro o catodo. Já para o par ferro/cobre, o ferro é anodo e o cobre, catodo. Na tabela resumida abaixo, obtida do Livro Corrosão do Prof. Vicente Gentil (3), podem ser verificados os potenciais anódicos e catódicos dos principais metais usados na engenharia.



Célula de corrosão eletroquímica

Elementos metálicos	Potencial	Anódico Menos nobre Mais eletronegativo
Magnésio	-2,38	↑ Mais eletronegativo
Alumínio	-1,68	
Zinco	-0,76	
Cromo	-0,74	
Ferro	-0,44	
Níquel	-0,23	
Hidrogênio	0,00	referência
Cobre	+0,34	↓ Mais eletropositivo
Prata	+0,80	
Platina	+1,20	
Ouro	+1,50	
		Mais nobre Catódico

Tabela de potencial eletroquímico resumida (3)

A galvanização é uma proteção do tipo catódica, ou seja, o zinco se corrói protegendo o aço, que é composto basicamente por ferro. O ferro, nesse caso, se comporta como catodo, daí o nome de proteção catódica. Enquanto há zinco suficiente não há corrosão do ferro. Esse tipo de proteção é conhecida como revestimento de sacrifício, pois o zinco se desgasta para proteger o aço.

Isoladamente, o ferro tem velocidade de corrosão maior do que o zinco. Entretanto, na galvanização, além do zinco se constituir em uma camada adicional, seus produtos de corrosão são menos solúveis em água dos que os do ferro.

2.2 Menor solubilidade dos produtos de corrosão do Zinco em relação ao Aço

Em regiões rurais se forma carbonato de zinco por causa do gás carbônico (CO₂) da atmosfera, produzidos pelas plantas e seres vivos. Nas regiões marítimas, onde existe névoa salina (constituída por 96,5% de água e 3,5% de sais, dos quais cerca de 85% é Cloreto de Sódio – NaCl), e nas industriais, onde há na atmosfera, o gás Anidrido Sulfuroso, ou Dióxido de Enxofre (SO₂), o desgaste é maior em virtude dos produtos de corrosão serem principalmente cloreto de zinco e sulfato de zinco, ambos mais solúveis do que o carbonato de zinco. A menor solubilidade do Carbonato, é benéfica, pois as águas de chuvas não lavam a superfície tão rápido como acontece com os outros produtos de corrosão do zinco.

Para demonstrar o comportamento diferente em cada meio, é apresentada na Tabela abaixo, retirada do livro do Sr. Eric V.Schmid – *Exterior Durability of Organic Coatings* (4), a solubilidade dos produtos de corrosão do Zinco nas três atmosferas: rural, marinha e industrial:

Tipos de atmosferas	Rural	Marinha	Industrial
Substâncias agressivas	O ₂ , H ₂ O, CO ₂	O ₂ , H ₂ O, CO ₂ , Cl	O ₂ , H ₂ O, CO ₂ , SO ₂ , NO _x
Produtos de Corrosão do Zinco	ZnO + H ₂ O → Zn(OH) ₂ Zn(OH) ₂ + CO ₂ → ZnCO ₃ ·3Zn(OH) ₂	ZnO + H ₂ O → Zn(OH) ₂ Zn(OH) ₂ + Cl → ZnCl ₂ ·Zn(OH) ₂ ZnCl ₂ ·Zn(OH) ₂ + H ₂ O → Zn ₂ OCl ₄ ·H ₂ O	Zn(OH) ₂ + SO ₂ → ZnSO ₃ (H ₂ O) Zn(OH) ₂ + NO _x → Zn(NO ₃) ₂ ZnSO ₃ (H ₂ O) + Zn(OH) ₂ → ZnSO ₄ ·Zn(OH) ₂ ZnSO ₄ ·Zn(OH) ₂ → ZnSO ₄
Solubilidade em água:	● Muito baixa	● Moderada	● Alta

Tabela retirada do livro do Sr. Eric V.Schmid – *Exterior Durability of Organic Coatings* (4)

2.3 Melhor comportamento do Zinco em relação ao Aço

Na Parte 2 – Classificação do Meio Ambiente da norma ISO 12944 (5) –, podemos observar o maior desgaste do Aço em relação ao Zinco, tanto em perda de massa como em perda de espessura em cada uma das categorias de corrosividade. Poderíamos supor que a diferença de desgaste é tão grande porque a massa específica (densidade) do aço é muito maior, mas quando comparamos os dois metais, a diferença não é tão grande assim (Aço → em média 7,80 g/cm³ e do Zinco 7,14 g/cm³).

Tabela 1 - Categorias de corrosão atmosférica e exemplos de ambientes típicos

ISO International Organization for Standardization	Perda de massa por m ² / perda de espessura (depois do primeiro ano de exposição)			
	Aço carbono		Zinco	
Categoria de corrosividade	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura μm	Perda de massa g/m ²	Perda de espessura μm
C1 (Muito baixa)	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1
C2 (Baixa)	>10 a 200	>1,3 a 25	>0,7 a 5	>0,1 a 0,7
C3 (Média)	>200 a 400	>25 a 50	>5 a 15	>0,7 a 2,1
C4 (Alta)	>400 a 650	>50 a 80	>15 a 30	>2,1 a 4,2
C5 (Muito alta)	>650 a 1500	>80 a 200	>30 a 60	>4,2 a 8,4
CX (Extrema)	>1500 a 5500	>200 a 700	>60 a 180	>8,4 a 25

Aço carbono	Zinco	diferença	Depois de um ano de exposição
C5: 1500 g/cm ² → 1,5 kg/m ²	C5: 60 g/cm ² → 0,06 kg/m ²	1,44 kg/m ²	
CX: 5500 g/cm ² → 5,5 kg/m ²	CX: 180 g/cm ² → 0,18 kg/m ²	5,32 kg/m ²	

Tabela retirada da norma ISO 12944 - 2

Da Tabela acima, podemos concluir que uma explicação razoável é que os produtos de corrosão do aço são mais volumosos e possuem maior solubilidade. Por isso que, em um mesmo período e no mesmo ambiente, por exemplo o C5 da norma ISO 12944, o aço chega a perder 1500 g/cm² enquanto o Zinco perde 60 g/cm².

2.4 Desempenho do galvanizado em vários ambientes

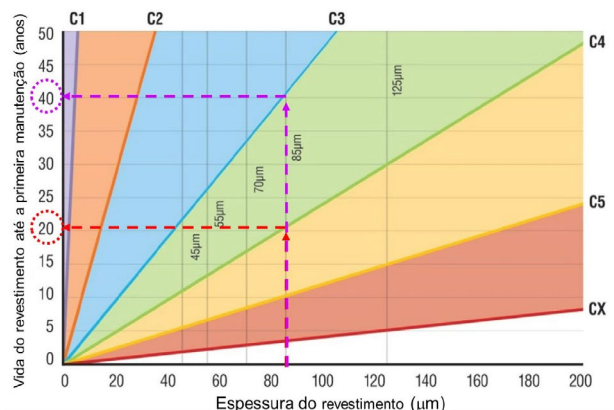


Gráfico retirado da AS/NZS 4680 (6), onde pode ser observado o desempenho do galvanizado em diversos ambientes corrosivos, C1, C2, C3, C4, C5 e CX, segundo ISO 12944-2

De acordo com AS/NZS 4680 [Australian/New Zealand Standard – Hot-dip galvanized (zinc coatings on fabricated ferrous articles)] (6), uma estrutura de aço galvanizada a quente com espessura maior que 6 mm, localizada em um ambiente C4, deve ter uma média mínima de 85 μm de zinco. Se você seguir o marcador de 85 μm, no gráfico, até a linha C4 (alta corrosividade), verde, e derivar para o eixo ‘vida de revestimento até a primeira manutenção’, verá que tem, na pior das hipóteses, aproximadamente 20 anos até a primeira manutenção (ou 5% de ferrugem do substrato aço). Na melhor das hipóteses,

a durabilidade do revestimento será de até 40 anos (seguindo a linha até a próxima zona de menor agressividade C3 – média corrosividade).

2.5 Preparação da superfície do galvanizado para a pintura

O assunto não faz parte deste artigo, mas é importante lembrar que para o Sistema de Pintura obter o desempenho esperado é fundamental que a preparação de superfície seja executada com a máxima atenção. Um ótimo guia em português é a norma ABNT NBR 16733, onde o assunto é tratado para os dois tipos de galvanizados: o Galvanizado Novo e o Envelhecido.

3 – COMO FUNCIONA A ‘SINERGIA’ NA PINTURA DO GALVANIZADO

A Australian Zinc Development Association efetuou um estudo onde demonstrou a vantagem de se pintar o galvanizado.

No gráfico abaixo pode ser observado um resumo da pesquisa onde se é comparado o aço carbono pintado com o aço galvanizado, e com o mesmo aço galvanizado pintado com a mesma tinta e exposto pelo mesmo tempo em um mesmo local, não importando as espessuras da tinta ou a gramatura do galvanizado.

O período que determinou o final da experiência foi o tempo para a primeira manutenção, em anos, até o aparecimento de 5% de ferrugem, tanto na pintura como no galvanizado.

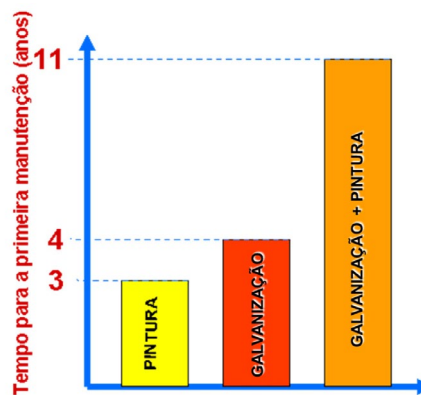
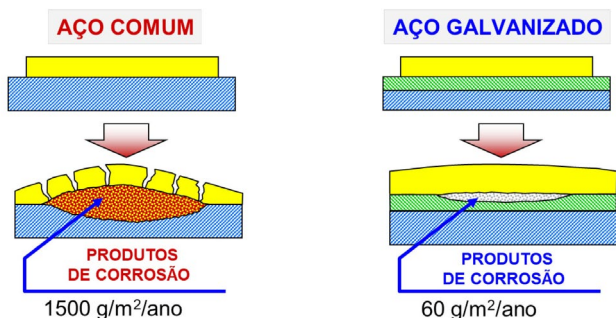


Gráfico baseado em estudo realizado pela Australian Zinc Development Association (7)

O aço pintado durou cerca de 3 anos para apresentar ferrugem. O mesmo aço, porém, galvanizado, durou cerca de 4 anos, e este aço galvanizado e pintado, durou mais de 11 anos.

A explicação é a Sinergia (ação cooperativa de duas ou mais substâncias de modo que o efeito resultante é maior que a soma dos efeitos individuais delas). Os pro-

duto de corrosão do aço são mais volumosos, possuem maior solubilidade e, em 3 anos, levantaram e destruíram a tinta. Já os do zinco são menos volumosos, menos solúveis e após 11 anos ainda não afetam a camada de tinta que continua protegendo. O tempo total (11) é maior do que a soma das parcelas individuais (3 + 4 = 7). Isto é o Sinergismo. A tinta é a mesma, a espessura da camada é a mesma, mas a sua durabilidade sobre o zinco é maior.



Desenho demonstrando que a Sinergia produz melhores resultados no Sistema Duplex Zinco/Tinta

4 – TIPOS DE TINTAS USADAS NA PINTURA DE GALVANIZADOS

4.1 Tinta Wash primer

A tinta Wash primer, à base de resina vinílica (polivinil butiral), ácido fosfórico e pigmento de tetróxicromato de zinco, foi muito usada. O ácido reagia com a superfície de zinco, formando fosfato de zinco, e o pigmento fornecia o cromato, formando um complexo de cristais apassivando a superfície do zinco, favorecendo a aderência da tinta. No entanto, esta tinta continha cromo, um metal pesado perigoso para a saúde e por isso deixou de ser usada.

A	SOLVENTE	ALCOOL ISOPROPÍLICO.....	57,7 %	
		ÁGUA	2,5 %	80,6 %
		ALCOOL BUTÍLICO	20,4 %	
		RESINA	POLIVINIL BUTIRAL	9,2 %
B	SOLVENTE	TETRÓXICROMATO DE ZINCO	8,8 %	
		TALCO	1,3 %	
		NEGRO DE FUMO	0,1 %	10,2 %
B	SOLVENTE	ALCOOL ISOPROPÍLICO	65,1 %	
		ÁGUA	16,5 %	81,6 %
		ACIDO	ÁCIDO FOSFÓRICO (85%)	8,4 %

Fórmula do Wash primer e um poste galvanizado pintado com a tinta

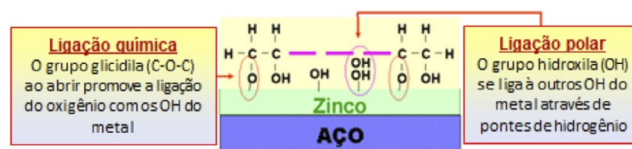
4.2 Tinta Epóxi-isocianato

A tinta Epóxi-isocianato já foi a mais usada na indústria por uma série de vantagens, como, por exemplo, ser insaponificável, se ligar fortemente ao zinco e oferecer uma excelente base de aderência para diversas tintas, como acrílicas, epóxi e poliuretano. Nas tintas Epóxi-i-

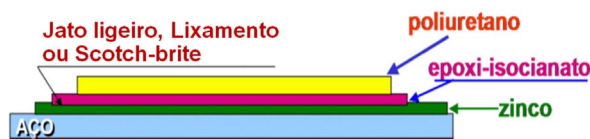
socianato, os grupos Epóxi se unem ao zinco por ligações químicas e polares. Quando a superfície sofre um lixamento ou um jateamento ligeiro teremos, além dos mecanismos de aderência química e polar, também a aderência mecânica por causa da rugosidade provocada na superfície do zinco. A tinta Epóxi-isocianato está deixando de ser utilizada por ser de baixos sólidos (sólidos por volume em torno de 20%).



Desenho dos componentes de uma tinta Epóxi-isocianato e um painel pintado com a tinta (vermelho)



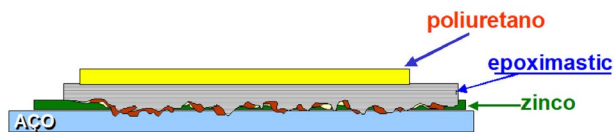
Ligações da tinta Epóxi-isocianato com o Zinco



Exemplo de Pintura de aço galvanizado novo com Epóxi-isocianato

4.3 Tinta Epóxi sem solventes (Epoximastic)

Este tipo de tinta Epóxi bicomponente, de baixíssimo teor de solvente, tolerante à umidade e a um residual de ferrugem, desde que fortemente aderido e em testes de aderência demonstraram ter excelente adesão a superfícies de galvanizado envelhecido, preparadas por ferramentas mecânicas e por isso chamadas de 'surface tolerant'. Pode ser aplicada à superfície de galvanizado novo desde que tratada com jato de varredura ('sweep blast'). Por uma questão de marketing, é chamada de sem solventes, mas possuem abaixo de 5% de solventes orgânicos. A grande vantagem do uso destas tintas é de elas serem ecologicamente corretas; chamadas de 'solvent free', são usadas como fundo totalmente compatíveis com acabamentos Poliuretanos Poliéster ou Poliuretanos Acrílicos Alifáticos.



Exemplo de pintura com Epoximastic de aço galvanizado envelhecido e com tratamento mecânico

4.4 Tinta Acrílica base água

Não deve ser confundida com tintas para paredes (alvenaria e concreto), pois são formuladas com resinas acrílicas especiais dispersadas em água. São tintas monocomponentes, de fundo e de acabamento, com comprovado desempenho de aderência sobre aço carbono, alumínio e principalmente sobre galvanizados. Possibilita pinturas em áreas internas, onde a evaporação de solventes não é conveniente. Exemplo de uso é a pintura de estruturas e equipamentos no interior de indústrias de alimentos e de bebidas. São sistemas adequados para componentes expostos em ambientes rurais, urbanos ou marítimos abrigados.

4.5 Tinta de Poliuretano Acabamento

A tinta de Poliuretano pode ser Acrílica Alifática ou Poliéster Alifático. O componente B (Isocianato Alifático) é o mesmo nas duas. Ambas têm ótimo desempenho frente ao intemperismo. A Acrílica é de custo menor, mas a de Poliéster tem maior resistência química e, por este motivo, é mais cara. São aplicadas como acabamento em Sistema com primer Epóxi. As tintas de Poliuretano Poliéster Alifático são usadas na pintura de aeronaves.



Desenho dos componentes de uma tinta de Poliuretano e torre pintada com acabamento Poliuretano

4.5.1 Tinta Poliuretânica DF (dupla função)

É um poliuretano Acrílico Alifático formulado especialmente para aplicação direta sobre superfície de aço galvanizado, desde que devidamente preparado. É uma tinta que dispensa o primer, pois é dupla função, fundo e acabamento ao mesmo tempo ('self priming').

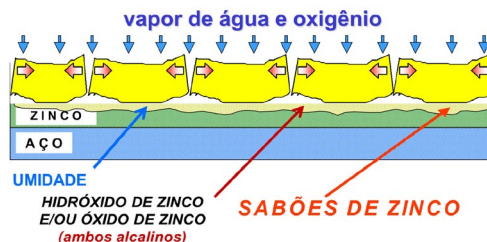


Desenho dos componentes de uma tinta de Poliuretano e uma torre pintada com Poliuretano DF

Recomendado para pintura de torres de telecomunicações, torres de energia elétrica, antenas, retransmissores, etc.

4.6 Tinta Alquídica

É muito comum observar que painéis e tubos galvanizados pintados apresentam destacamentos da pintura. O motivo, na maioria dos casos, é a pintura com tintas Alquídicas e o desconhecimento de que essas tintas (primer e esmalte sintéticos) sobre galvanizados, e expostas ao intemperismo (ação do sol e das chuvas), começam a se destacar alguns meses após a pintura. A razão é porque elas contêm óleos vegetais que possuem na sua composição ácidos graxos livres, que reagem com os produtos de corrosão do zinco de caráter alcalino formando sabões de zinco. Em razão da alta permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio dessas resinas, em pouco tempo, as películas não estarão mais aderidas diretamente sobre o zinco, mas sobre seus produtos de corrosão, principalmente óxido de zinco, hidróxido e sabões de zinco. Compostos solúveis sob a película de tinta provocam o surgimento de bolhas por causa do fenômeno de osmose, que também contribui para agravar o problema de destacamento. A presença de óxido de zinco na superfície causa envelhecimento precoce da película de tinta Alquídica causando perda de flexibilidade e de aderência. Com o fissuramento, a água penetra na interface metal/tinta, onde existem os compostos solúveis e os sabões, causando o colapso total do sistema de pintura, com o seu destacamento completo.



Desenho esquemático de como ocorre a saponificação da tinta alquídica e destacamentos



Painéis galvanizados e pintados, apresentando destacamentos da tinta

5 – SISTEMAS DE PINTURA SEGUNDO A NORMA ISO 12944-5 (5)

A Tabela D.1 – Sistemas de pintura para aço galvanizado a quente para as categorias de corrosão C2 a C5 traz vinte sistemas com expectativa de durabilidade em quatro faixas, sendo L – baixa, até 7 anos; M – média, de 7 a 15 anos; H – alta, de 15 a 25 anos; e VH – muito alta, acima de 25 anos. São Sistemas de Pintura com primers e acabamentos, com alguns tipos de resinas, número de demãos e espessura mínima para cada faixa de durabilidade.

As tintas propostas nos Sistemas da Tabela D.1, com formulações específicas para Sistemas de Pintura em aço galvanizado a quente, foram comprovadas por uma combinação de experiência de campo e testes de laboratório de acordo com a ISO 12944-6. Há ensaios cíclicos, nesta parte da norma, que chegam a 1680 h e 2688 h.

Se esses exemplos forem utilizados, deve-se garantir que os Sistemas de Pintura escolhidos estejam em conformidade com a durabilidade indicada na execução da pintura, conforme especificado. A maioria dos fabricantes de tintas tem certificados de análises de laboratórios idôneos de que eles atendem as exigências da norma ISO 12944, Partes 5 e 6.

Os números dos Sistemas de Pintura consistem na letra 'G' (de Galva-

nizado), o número da categoria de corrosividade e um número sequencial. Ex.: G4.06 – Esquema com Primer Epóxi ou Poliuretano, Acabamento Epóxi ou Poliuretano ou Acrílica, em 2 a 3 demãos, na espessura total mínima de 200 micrometros, com expectativa de durabilidade acima de 25 anos.

Sistema N°	Categoria de corrosividade	Primer			Demão(s) subsequentes	Sistema de pintura		Durabilidade			
		Tipo de resina	N° de demãos	EPS µm		Tipo de resina	N° de demãos	EPS µm	L	M	H
G2.01	C2 (Baixa)	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X	X	
G2.02		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X	X
G2.03		EP, PUR	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X	X	X	X
G3.01	C3 (Média)	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X	X		
G3.02		EP, PUR	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X	X	X	
G3.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X	X	
G3.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	X
G3.05		AY	1	80	AY	2 a 3	200	X	X	X	X
G4.01	C4 (Alta)	EP, PUR, AY	1	80		1	80	X			
G4.02		EP, PUR	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X	X		
G4.03		AY	1	80	AY	2	160	X	X		
G4.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	
G4.05		AY	1	80	AY	2 a 3	200	X	X	X	
G4.06		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X	X	X
G5.01	C5 (Muito Alta)	EP, PUR	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X			
G5.02a		AY	1	80	AY	2	160	X			
G5.02b		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2	160	X	X		
G5.03		AY	1	80	AY	2 a 3	200	X	X		
G5.04		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X	X	
G5.05		EP, PUR	1	80	EP, PUR, AY	2 a 3	240	X	X	X	X

Tabela D.1 - Sistemas de Pintura para aço galvanizado a quente (corrosividade C2 a C5)

Na Tabela abaixo, baseada na Tabela D.1, estão as faixas de espessuras mínimas dos Sistemas de Pintura para cada ambiente (C2, C3, C4 e C5) e para a expectativa de durabilidades VH. Na Tabela, foram escolhidos os tipos de resina Epóxi (EP) e Poliuretano (PUR), que são os mais usados na manutenção industrial no Brasil.

Sistema N°	Categoria de corrosividade	Primer			Demão subsequente	Sistema de pintura		Expectativa de Durabilidade
		Tipo de resina	N° de demãos	EPS µm		Tipo de resina	N° demãos	
G2.03	C2 (Baixa)	EP, PUR	1	80 a 120	EP, PUR	1	120	VH
G3.04	C3 (Média)	EP, PUR	1	80	EP, PUR	2	160	VH
G4.06	C4 (Alta)	EP, PUR	1	80	EP, PUR	2 a 3	200	VH
G5.05	C5 (Muito Alta)	EP, PUR	1	80	EP, PUR	2 a 3	240	VH

Sistemas de Pintura para aço galvanizado a quente da Tabela D.1 para durabilidade VH (> 25 anos)

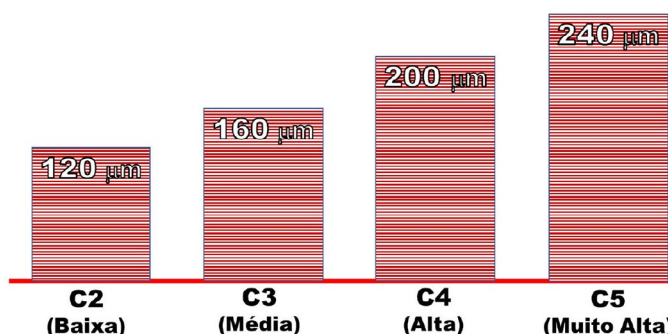


Gráfico da espessura da camada total mínima de Sistemas de Pintura para aço galvanizado a quente da Tabela D. 1 para durabilidade VH (> 25 anos)

6 – QUAL É A MELHOR OCASIÃO PARA SE PINTAR O AÇO GALVANIZADO ?

A resposta é: o quanto antes, de preferência enquanto o galvanizado está novo, pois se a camada de zinco for consumida, mais difícil e cara fica a limpeza da superfície e, por não existir mais a sinergia do sistema zinco/tinta, menor será a durabilidade da pintura.

Pintura sobre aço galvanizado

Área afetada	Durabilidade	AUMENTO DO CUSTO DA LIMPEZA EM RELAÇÃO A SUPERFÍCIE SEM FERRUGEM
sem ferrugem	10 a 12 anos	--
5 a 10 %	8 a 10 anos	25%
10 a 20 %	5 a 8 anos	duplica ou triplica
acima de 20 %	4 a 5 anos	depende da profundidade da corrosão e do meio

Considerações do Sr. T. J. Eberhardt, em artigo publicado na revista *Electric Light and Power* (8)

Se, por hipótese, um sistema de pintura aplicado sobre galvanizado intacto tiver durabilidade estimada em cerca de 10 a 12 anos (até apresentar ferrugem) e for aplicado sobre galvanizado com cerca de 10 a 20% de ferrugem terá apenas a metade do tempo previsto e custará o dobro, ou até mesmo o triplo, em relação ao intacto. O aumento do custo da preparação de superfície será tanto maior quanto mais danificado o galvanizado estiver, devido à dificuldade de remoção dos produtos de corrosão, necessitando de ferramentas mecanizadas ou de jateamento abrasivo.

O pior é a necessidade de trocar peças corroídas, com custos ainda maiores e, em casos extremos, até risco de acidente. No caso de manutenção da pintura

que está envelhecida, mas o galvanizado sob a tinta ainda está intacto, a operação ainda é vantajosa, pois os gastos na ocasião da repintura serão apenas com a remoção da camada de tinta e com o lixamento ou escovamento por escovas de aço da superfície do galvanizado. Há interesse na preservação da camada de zinco, que ainda estará íntegra para atuar no Sistema Duplex por outros tantos anos.

7 – CONCLUSÕES

O aço galvanizado é um material muito interessante em termos de versatilidade e de longa durabilidade, e pode oferecer uma vida útil muito maior se pintado com Sistemas de Pintura adequados, escolhidos em função da agressividade do meio ambiente sobre superfície corretamente preparada. A norma ISO 12944 - Parte 5 é um bom guia para escolha desses Sistemas. Os produtos de corrosão do zinco são muito menos volumosos do que os do aço e, por isso, danificam menos a tinta, contribuindo para que a pintura proteja a superfície por tempos maiores. Se as tintas forem aplicadas enquanto o galvanizado está novo e ainda não sofreu desgaste, a durabilidade da pintura será mais longa e o custo de manutenção será muito menor. A pintura não compete com o galvanizado, apenas completa.

Portanto, para a pergunta: por que pintar aço galvanizado?

A melhor resposta é: O Sistema Duplex Zinco/Tinta oferece a maior durabilidade que se pode alcançar em um sistema anticorrosivo para o aço carbono.

REFERÊNCIAS

- (1) *Manual de Galvanização do ICZ.*
- (2) ABNT NBR 7399 - *Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente - Verificação da espessura do revestimento por processo não-destrutivo.*
- (3) GENTIL, VICENTE - *CORROSÃO, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro.*
- (4) Schmid, Eric V. *Exterior Durability of Organic Coatings, Surrey, England, FMJ International Publications Limited.*
- (5) ISO 12944 - *Proteção contra a Corrosão de Estruturas de Aço por Sistemas de Pintura Partes 1, 2, 5 e 6.*
- (6) AS/NZS 4680 [Australian/New Zealand Standard - *Hot-dip galvanized (zinc coatings on fabricated ferrous articles).*
- (7) *Australian Zinc Development Association - Painting zinc coated steel.*
- (8) T. J. Eberhardt, em artigo publicado na revista *Electric Light and Power.*

CONHEÇA UM POUCO MAIS SOBRE O AUTOR, CELSO GNECCO

Engenheiro Químico, formado em 1974, pela Escola Superior de Química Oswaldo Cruz em São Paulo/SP.

Curso de Pós-Graduação na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em Corrosão, Polímeros, Papel & Celulose e Refinação de Petróleo.

Ex-Chefe do Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento de Tintas do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas, onde trabalhou de 1969 à 1990.

Ex-Gerente de Treinamento Técnico da Sherwin-Williams/Sumaré, de 1990 a 2019.

Membro do Conselho Deliberativo da ABRACO nos biênios 93/95, 96/97 e 98/99 e 2011/2012 e 2013/2014.

Autor da publicação IPT 1558 - PINTURA DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL (1984).

Co-autor: PUBLICAÇÃO TÉCNICA PT 07 - Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica / Escola Politécnica da USP-FDTE - PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO. Co-autores: Ubiraci E. L de Souza e Antonio D. de Figueiredo (1988).

Co-autor: APOSTILA TÉCNICA e CARTILHA DO PINTOR - Pinturas Ypiranga. Co-autor: Fernando Fernandes (1989).

Co-autor: Livro da ABRAFATI - TINTAS: CIÊNCIA E TECNOLOGIA (1ª a 4ª edições de 1993 a 2009).

Co-autor: Livro "ESTRUTURAS DE AÇO"- CONCEITOS, TÉCNICAS E LINGUAGEM- Autor - Luís Andrade De Mattos Dias - Editora Zigurate. (1997)

Co-autor: Livro Tratamento de Superfície e Pintura - Publicação IBS/CBCA, da série Manual de Construção em Aço. Co-autores Roberto Mariano e F. Fernandes (2003).

Autor das 'Historinhas do Pincelzinho', publicadas na revista 'Pintura Industrial', da Agnelo Editora (não é mais editada).

Membro do COMITÊ BRASILEIRO DE CORROSÃO - ABNT / CB-43 CE-43.000.02 - COMISSÃO DE ESTUDO DE PINTURA INDUSTRIAL ANTICORROSIVA.

■ INSTRUTOR EM CURSOS:

ABENDI - IEQ - Formação de Inspectores de Equipamentos desde 2005.

ABRACO - Inspetor de Pintura Nível I desde 2007, Nível 2 desde 2017, Curso Básico de Pintura Anticorrosiva, desde 2018. Curso CETA -Ensaio em Tintas Anticorrosivas, desde 2020.

ABRAFATI - Curso Tintas: Ciência e Tecnologia, desde 1993.

ICZ/ABRACO - Curso de Inspetor de Galvanização a Quente, desde 2020

IPT - Curso Mestrado: Sistemas Construtivos para Habitação: Inovação e Desempenho - Emprego do Aço: Corrosão e Proteção, desde 1990. 📌