

# **D O S S I Ê T É C N I C O**

**Galvanização eletrolítica**

**Ladislau Nelson Zempulski**  
**Marina Fernanda Stocco Zempulski**

**Instituto de Tecnologia do Paraná**

**Julho**  
**2007**

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	2
<b>2 OBJETIVO</b> .....	3
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	3
<b>3.1 Apresentação</b> .....	3
<b>3.2 Processos de galvanização</b> .....	5
3.2.1 Zincagem ou galvanização por imersão a quente (a fogo).....	5
3.2.2 Zincagem por aspersão térmica (metalização) .....	7
3.2.3 Zincagem ou galvanização eletrolítica (a frio) .....	8
<b>3.3 Eletrodeposição</b> .....	9
<b>3.4 Proteção anticorrosiva</b> .....	10
<b>3.5 Meio corrosivo</b> .....	11
<b>3.6 Etapas da galvanização eletrolítica</b> .....	11
3.6.1 Desengraxe .....	12
3.6.2 Decapagem .....	12
3.6.3 Zincagem .....	13
3.6.4 Passivação .....	13
3.6.5 Acabamento.....	13
<b>3.7 Outras formas de eletrodeposição de zinco</b> .....	13
3.7.1 Zinco-ferro eletrodepositado .....	13
3.7.2 Zinco-níquel eletrodepositado.....	14
3.7.3 Zinco-níquel eletrodepositado e orgânico .....	14
3.7.4 Outros revestimentos de ligas de zinco .....	14
<b>3.8 Vantagens da galvanização</b> .....	15
3.8.1 Custo competitivo e menor custo de manutenção .....	15
3.8.2 Durabilidade.....	15
3.8.3 Rapidez do processo (e de utilização) .....	15
3.8.4 Inalteração das propriedades da peça .....	15
3.8.5 Versatilidade de aplicação .....	16
3.8.6 Grande resistência mecânica.....	16
3.8.7 Proteção completa da peça .....	16
3.8.8 Confiabilidade .....	16
3.8.9 Facilidade de inspeção .....	16
<b>3.9 Pintura sobre aços galvanizados</b> .....	16
<b>3.10 Galvanização eletrolítica e o meio ambiente</b> .....	17
<b>4 NORMAS TÉCNICAS</b> .....	18
<b>Conclusões e recomendações</b> .....	19
<b>Referências</b> .....	19

## **Título**

Galvanização eletrolítica

## **Assunto**

Usinagem, solda, tratamento e revestimento em metais

## **Resumo**

Este dossiê apresenta, primeiramente, o processo de deposição de zinco em superfícies e as técnicas disponíveis. Posteriormente, são detalhados os mecanismos da galvanização por eletrodeposição bem como suas propriedades, etapas, variações, vantagens, relação com o meio ambiente, pintura e normas técnicas.

## **Palavras-chave**

Corrosão; eletrodeposição; galvanização eletrolítica; galvanoplastia; imersão; metal; proteção de sacrifício; tratamento de superfície; zincagem; zinco

## **Conteúdo**

### **1 INTRODUÇÃO**

A corrosão é um problema que causa prejuízos anuais da ordem de bilhões de dólares em todo o mundo, consumindo cerca de 20% da produção mundial de ferro. Por esta razão, as indústrias envolvidas com a fabricação de equipamentos, estruturas, peças ou componentes que utilizam metais passíveis de corrosão estão sendo pressionadas por seus consumidores a adotar melhores métodos de prevenção. Por isso, tanto nos produtos acabados como também nas etapas intermediárias da fabricação, a utilização de produtos com revestimento protetor tornou-se um pré-requisito.

A eletrodeposição define o recobrimento de uma superfície com um material condutor (geralmente metal) pela migração e fixação de partículas carregadas eletricamente de uma solução aquosa iônica com o auxílio de corrente elétrica. Este procedimento tem por objetivos impedir a deterioração de peças devido à oxidação, corrosão ou ataque de bactérias.

O recobrimento de uma superfície metálica com zinco é genericamente chamado de galvanização, independente do processo utilizado para a realização do revestimento.

No Brasil, a produção anual de produtos galvanizados triplicou nos últimos quinze anos, e pesquisas indicam que este mercado tende a quadruplicar nos próximos cinco anos para atender a variados segmentos consumidores.

A galvanização vem ocupando um lugar crescente na indústria em geral devido a dois pontos principais:

- boas propriedades anticorrosivas;
- baixo custo em relação aos demais processos de proteção.

Grande parte do consumo de chapas e perfis galvanizados ocorre na indústria automobilística e autopeças; construção civil; na fabricação de produtos da “linha branca”;

na área de conforto térmico (refrigeração, ventilação e aquecimento); na fabricação de dutos de ar condicionado; silos de armazenagem; cabines de pintura; implementos agrícolas; etc; onde os principais requisitos desse material são resistência à corrosão, conformabilidade, aparência estética, boa soldabilidade e adequação como substrato para pintura.

## 2 OBJETIVO

Este dossiê aborda diversos aspectos de natureza tecnológica sobre tratamentos de superfícies metálicas por galvanização eletrolítica e tem por objetivo disseminar informações que possam promover o incremento de melhorias junto às micro e pequenas empresas, bem como sanar dúvidas com relação ao processo descrito e aspectos relativos à tecnologia de produção e processo, vantagens, meio ambiente, dentre outros.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 Apresentação

Em 1741, o químico francês Melouin descobriu que o recobrimento de zinco poderia proteger o aço da corrosão. Em 1837, o engenheiro Sorel patenteou a galvanização a fogo utilizando o termo galvanização porque é a corrente galvânica que protege o aço (em homenagem a Luigi Galvani, 1737-1798, um dos primeiros cientistas a pesquisar a eletricidade e seus benefícios).

Fenômeno natural inerente aos metais, a corrosão é provocada pela existência de áreas com diferenças de potencial na superfície metálica (FIG. 1). Como na natureza a busca pelo equilíbrio é constante, ou seja, menor energia, os metais perdem átomos para o meio, caracterizando a corrosão. Isso acontece em decorrência da aeração diferencial, ou seja, atmosferas com umidade e oxigênio. O processo é intensificado quando na presença de poluentes, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ou cloreto (Cl).



Figura 1 - Superfícies submetidas à corrosão  
Fonte: WIKIPEDIA

Como o processo de corrosão dos metais está diretamente relacionado com o potencial de oxidação de eletrodo que remove os elétrons do ferro formando cátions Fe<sup>+2</sup>, quanto mais positivo for o potencial de oxidação, mais reativo é o metal.

O potencial de oxidação é a tensão gerada no material em relação a um eletrodo neutro de referência. No QUADRO 1, apresentado a seguir, são indicados os potenciais de alguns metais.

Quadro 1 - Potenciais de oxidação

Metal	Potencial (Volt)
Alumínio	+ 1,66
Zinco	+ 0,763
Cromo	+ 0,74
Ferro	+ 0,440
Níquel	+ 0,250
Cobre	- 0,337
Prata	- 0,80
Platina	- 1,2
Ouro	- 1,50

Na prática, este tipo de corrosão ocorre devido às diferenças de materiais existentes como soldas, conexões ou simplesmente contato ou diferenças superficiais no mesmo metal (FIG. 2). O eletrólito pode ser, por exemplo, a água contida no solo ou em contato direto com a superfície do metal.



Figura 2 - Peça corroída pelo contato entre materiais diferentes  
Fonte: WIKIPEDIA

A proteção pelo uso de zinco consiste em combinar o zinco com o ferro, resultando no zinco como ânodo e o ferro como cátodo, prevenindo assim a corrosão do ferro, uma vez que o zinco atua como uma barreira protetora evitando a entrada de água e ar atmosférico, além de sofrer corrosão antes do ferro.

Os aços galvanizados apresentam maior durabilidade com relação aos não submetidos a este tratamento, mas eles se comportam de maneira diferente em ambientes rurais, urbanos ou marítimos. A corrosão do zinco é de 10 a 50 vezes menor que no aço em áreas industriais e rurais, e de 50 a 350 vezes em áreas marinhas. O gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) das regiões rurais provoca a formação do carbonato de zinco e o desgaste é maior em regiões industriais e litorâneas devido à presença de névoa salina e óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), cujos produtos de corrosão são mais solúveis que o carbonato de zinco.

Os dados abaixo disponíveis no QUADRO 2 (valores aproximados) integram o estudo do Mapa de Corrosão Ibero-Americana, coordenados pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em conjunto com os demais países latino-americanos e da península ibérica (Fonte: MICAT – Mapa Ibero-americano de Corrosividade Atmosférica – Programa CYTED).



Quadro 2 - Durabilidade do revestimento zincado

PARÂMETRO	TIPO DE ATMOSFERA		
	RURAL (BELÉM/PA)	INDUSTRIAL (CUBATÃO/SP)	MARINHA (FORTALEZA/CE)
Temp. Média (°C)			
U.R. Média (%)	26	23	26
Taxa de SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>2</sup> dia)	86	75	75
Taxa de Cloretos (mg/m <sup>2</sup> dia)	5 (baixa)	54 (alta)	5 (baixa)
Taxa de corrosão do aço nu (µm/ano)	2 (baixa)	14 (baixa)	300 (muito alta)
Taxa de corrosão do aço galvanizado (µm/ano)	1,2	1,3	5,4
Durabilidade para camada de 90µm do aço galvanizado (ano)	78	69	17

Fonte: PORTAL DA GALVANIZAÇÃO

A durabilidade da galvanização é diretamente proporcional à qualidade do zinco utilizado, à espessura do revestimento e depende da agressividade do meio que o material está exposto (FIG. 3).

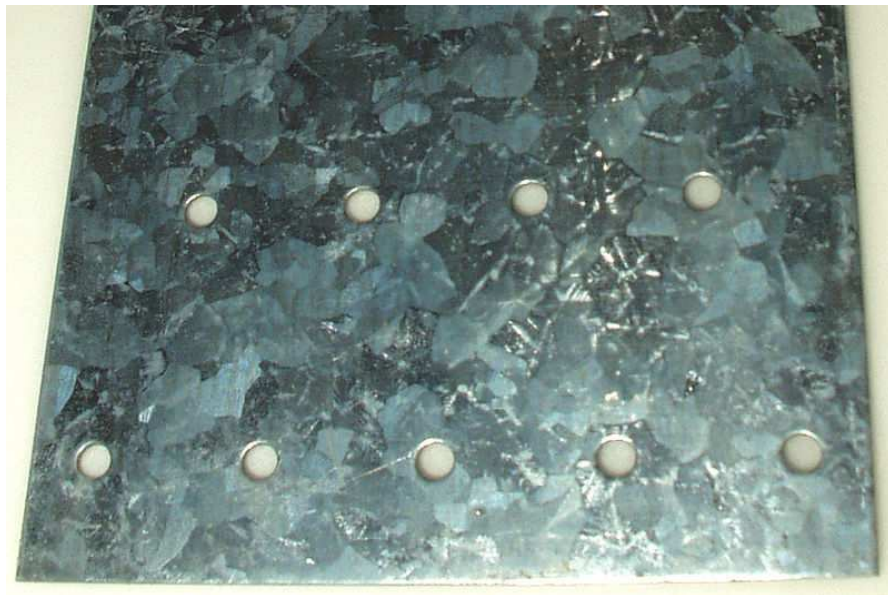


Figura 3 - Superfície galvanizada  
Fonte: WIKIPEDIA

### 3.2 Processos de galvanização

Os processos usuais para a obtenção de uma superfície galvanizada são:

- zincagem ou galvanização por imersão a quente (a fogo);
- zincagem por aspersão térmica (metalização);
- zincagem ou galvanização eletrolítica (a frio).

#### 3.2.1 Zincagem ou galvanização por imersão a quente (a fogo)

Na zincagem por imersão a quente, também conhecida como zincagem a fogo, a peça pré-aquecida e limpa é submersa num banho de zinco fundido entre 450 e 480°C e este adere e se difunde no metal de base que normalmente é aço ou ferro fundido. A difusão promove

transformações metalúrgicas, gerando camadas intermetálicas com teores crescentes de zinco até a superfície, onde permanece uma camada de zinco puro.

O controle das condições de entrada, permanência e saída do banho desta galvanização permitem obter a espessura de revestimento desejada (TAB. 1). O tratamento posterior é normalmente constituído por uma passivação em banho adequado ou por uma operação de aplicação de um óleo. Ambos os tratamentos se destinam a proteger a superfície revestida, quer durante a armazenagem, quer durante o transporte.

A espessura total da camada pode atingir de 60 a 120  $\mu\text{m}$ , que utiliza cerca de 600 g de zinco por metro quadrado. Atualmente, encontram-se no mercado chapas com espessuras que variam desde 0,3 até 2,7 mm com esse tipo de revestimento, dependendo de vários fatores como a geometria da peça, composição química do material base (aço ou ferro fundido), temperatura, velocidade de imersão e retirada, etc.

Tabela 1 Relação entre o tempo de imersão e a espessura da camada

Tempo de Imersão	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	
	Sem jateamento	Com jateamento
15 s	33	80
30 s	52	110
60 s	60	130
2 min	82	180
3 min	110	220
4 min	130	240

Fonte: PORTAL METALICA

As reações metalúrgicas promovidas entre o zinco e o ferro durante a galvanização a quente fazem com que o revestimento possua excelente aderência ao material base, muito maior que a apresentada por revestimentos produzidos por processos mecânicos ou químicos (FIG. 4).

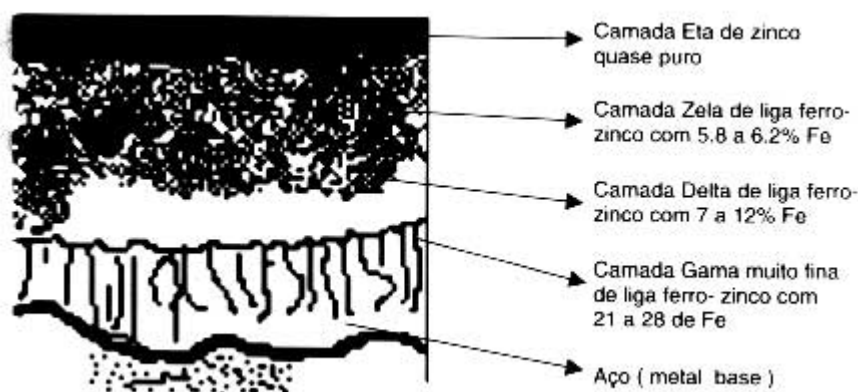


Figura 4 - Camadas formadas na galvanização por imersão a quente

Fonte: PORTAL METALICA

Um outro tipo de produto galvanizado é aquele que, após a zincagem a quente, recebe um tratamento de recozimento da camada. O processo, cujo objetivo é o de aumentar a aderência da camada ao metal base para melhorar suas características de posterior soldagem e pintura, consiste no reaquecimento do produto recém-zincado antes da solidificação da camada, a temperatura e tempo controlados, garantindo a continuidade da difusão e da produção de intermetálicos e consumindo todo o zinco livre.

A velocidade de uma linha de galvanização pode ser limitada pela capacidade de aquecimento do forno de tratamento térmico, particularmente para chapas largas e espessas. Para chapas estreitas e finas, a referida velocidade pode ser limitada apenas mecanicamente e pode ser da ordem das várias centenas de metros por minuto.

Entre os produtos zincados a quente (FIG. 5), os convencionais são principalmente utilizados pelo setor de construção civil, onde os principais requisitos são de resistência à

corrosão, conformabilidade e aparência estética. Os que recebem tratamento de recozimento da camada são consumidos preferencialmente pelos setores automobilísticos e de eletrodomésticos, onde, além dos requisitos anteriores, ainda são necessárias boa soldabilidade e adequação como substrato para pintura.



Figura 5 - Exemplos de produtos galvanizados a fogo  
Fonte: RESUME GALVANIZAÇÃO



Figura 6 - Galvanização por imersão a quente  
Fonte: SANTA CLARA

### 3.2.2 Zincagem por aspersão térmica (metalização)

Na aspersão ou metalização utiliza-se uma pistola, semelhante às de pintura (dotada de arame de zinco no interior, de pó ou de metal fundido), que projeta partículas de metal líquido sobre a superfície limpa e rugosa do aço ou ferro fundido (FIG. 7).

Ao alvejar a peça metálica ocorre a aspersão do zinco. As gotas do metal líquido são solidificadas quando atingem a superfície e formam uma camada levemente porosa de lâminas que se recobrem, e que deve ser impregnada com um selante de modo a obter a máxima resistência à corrosão. Não há a formação de intermetálicos e a adesão é obtida pelo ancoramento mecânico junto à superfície. O custo deste tratamento é alto devido às exigências elevadas em termos de preparo e limpeza superficial.

É o único método satisfatório para obter revestimentos extremamente espessos (250  $\mu\text{m}$  ou mais) e a porosidade inerente dos revestimentos de zinco por projeção não é prejudicial para a proteção contra a corrosão porque as discontinuidades são rapidamente seladas com produtos de corrosão.

Esse método é mais comum na recuperação de elementos difíceis de mover ou imóveis, como pontes, interior de navios, etc. Tem como vantagem não ter restrições em relação às dimensões das peças a serem tratadas, ao contrário dos casos de galvanização eletrolítica ou por imersão a quente, e pode ser depositado sobre polímeros desde que atente-se para



técnicas de aderência de ABS em poliamida, base para a metalização.



Figura 7 - Exemplos de produto metalizados  
Fonte: RESUME GALVANIZAÇÃO

### 3.2.3 Zincagem ou galvanização eletrolítica (a frio)

Neste processo, o zinco é eletroliticamente depositado no metal base formando uma camada homogênea, fina e muito aderente, que não influi nas propriedades mecânicas do material, a partir de uma solução na qual estão dissolvidos sais do metal que se deseja depositar.

Caracterizado por uma microestrutura microfacetada em superfície, representativa do aspecto característico dos cristais hexagonais de zinco, o aço eletrozincado não apresenta ligas intermetálicas, sendo este revestimento constituído apenas por zinco puro.

Esta operação é adequada a um produto que precise sofrer conformação posterior, requer um acabamento brilhante, decorativo, além de uma boa proteção contra a corrosão e aderência de tinta (FIG. 8).



Figura 8 - Diferentes acabamentos possíveis na zincagem eletrolítica  
Fonte: MAGNUM

A camada de zinco puro possui em torno de 8 a 20  $\mu\text{m}$ , ou seja, de 57 a 143 g de zinco por metro quadrado, dependendo da densidade de corrente e do tempo de imersão no banho. Atualmente encontram-se no mercado chapas com espessuras que variam desde 0,4 até 1,6 mm com esse tipo de revestimento, muito usado na indústria automobilística.

Da mesma forma que no processo por imersão a quente, as dimensões das peças estão limitadas pelo tamanho das cubas.

Como este modelo de galvanização é o foco principal do presente trabalho, o mesmo será posteriormente detalhado nos itens seguintes.



Figura 9 - Exemplo de banho eletrolítico manual e respectivo produto final  
Fonte: GALVOATA



Figura 10 - Exemplo de peças eletroliticamente galvanizadas  
Fonte: GALVANISA

### 3.3 Eletrodeposição

A energia elétrica pode ser conduzida através da matéria pela passagem de carga elétrica de um ponto a outro, sob a forma de corrente elétrica. A existência de corrente elétrica implica a existência de transportadores de carga na matéria e de uma força que faça com que eles se movam.

Os transportadores de carga podem ser elétrons, como no caso dos metais, ou íons positivos e negativos, como no caso de soluções eletrolíticas e sais fundidos. No primeiro caso a condução é dita metálica e no segundo, eletrolítica.

Em uma galvanoplastia, a corrente elétrica é uma das principais matérias-primas do processo. Entretanto, antes de entrar no processo ela é convertida de corrente alternada (proveniente da rede de distribuição de energia elétrica) para corrente contínua, com o uso de aparelhos retificadores. Com a transformação em corrente contínua é possível separar as partes positiva e negativa da corrente.

No cátodo (parte negativa) é colocado as peças a serem beneficiadas. No ânodo (parte positiva) é colocado o metal, que fornecerá os íons (cátions) para a solução eletrolítica. O

metal (estado neutro) se dissocia através da alta corrente elétrica (2000A) ou dissolução química em cátions, carregados positivamente. Esses cátions ficam dispersos na solução eletrolítica e através de reações de oxi-redução no cátodo (carregado negativamente), estes são convertidos novamente em metal (estado neutro) depositado sobre a superfície da peça.

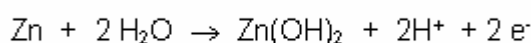
Quanto mais energia é fornecida, maior é a camada depositada.

### 3.4 Proteção anticorrosiva

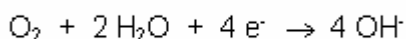
Pode-se demonstrar através de cálculos termodinâmicos e de medidas de potencial de eletrodo que o zinco é um metal bastante reativo, portanto, com uma tendência apreciável para se corroer. No entanto, na aplicação prática, verifica-se que a velocidade de corrosão do zinco em atmosferas naturais e soluções aquosas relativamente neutras é razoavelmente baixa, conferindo aos revestimentos de zinco uma boa resistência à corrosão e uma longa duração.

O processo de corrosão do zinco em soluções neutras ou aproximadamente neutras é geralmente acompanhado pela formação de películas de produtos de corrosão nas áreas anódicas do metal. Se as películas são densas e aderentes atuam como barreira impedindo a continuação do ataque.

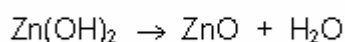
Quando o revestimento de zinco é corroído, primeiro forma-se o hidróxido de zinco, segundo a reação anódica descrita a seguir, o qual cobre a superfície do mesmo.



Como a condutividade do hidróxido é baixa, ele retarda a redução do oxigênio (reação catódica) e suprime a primeira reação:



Contudo, o  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  desidrata-se dando origem ao óxido de zinco (reação anódica):



Que é um semicondutor tipo n, tornando-se assim menos eficiente na supressão da reação catódica e permitindo o progresso da corrosão.

Entretanto, foi verificado que a reação de desidratação do hidróxido de zinco é inibida pela ligação do zinco com o alumínio, o níquel, o magnésio, o manganês e o cobalto, portanto, rapidamente têm sido desenvolvidos novos revestimentos anticorrosivos incluindo estes tipos de liga.

As velocidades de corrosão elevadas nas soluções fortemente ácidas e alcalinas podem ser atribuídas à ausência de películas sobre a superfície metálica e o fácil acesso de íons hidrogênio, oxigênio e OH sobre a superfície metálica. Nestes casos, tais revestimentos são protegidos por pintura adequadamente especificada.

Através de uma barreira física, o aço fica isolado do meio corrosivo pelo revestimento e pela película de produtos de corrosão do zinco, mas uma das grandes vantagens destes revestimentos é que quando este sofre descontinuidades devido a solicitações mecânicas ou a sua própria corrosão; em torno de 1 a 2 mm, age como uma proteção catódica do

aço exposto, ou seja, o ferro é protegido à custa da dissolução eletrolítica preferencial do zinco, sendo considerado um revestimento de sacrifício (FIG. 11).

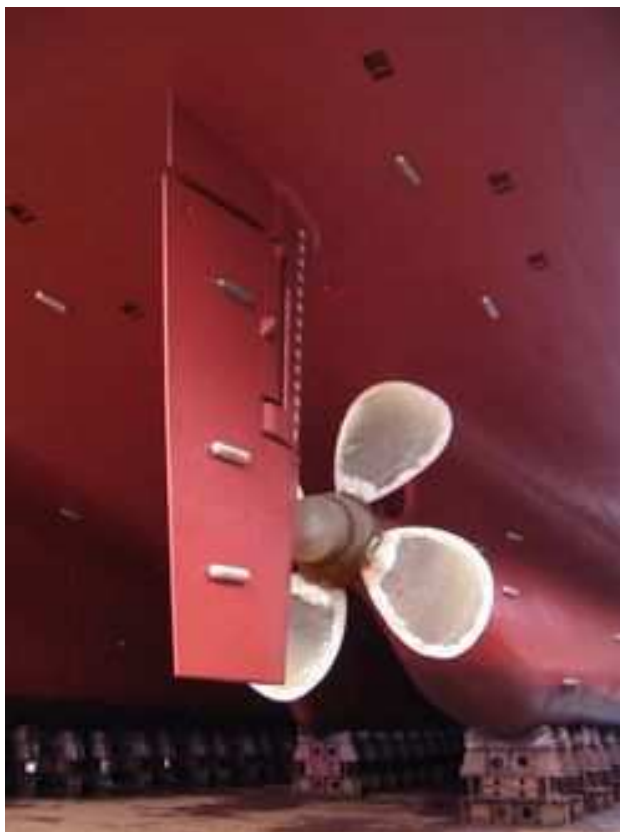


Figura 11 - Proteção de sacrifício aplicada sobre o casco de um navio  
Fonte: WIKIPEDIA

O revestimento de zinco protege o aço da oxidação provocada por intempéries, mas, não contra ataques químicos, pois neste caso não há sistema de proteção confiável isoladamente. Em geral, em regiões sujeitas aos ataques mais agressivos recomenda-se que as peças primeiramente passem pelo processo de galvanização e depois recebam uma pintura especial como reforço.

### 3.5 Meio corrosivo

Com relação ao meio, deve-se considerar fatores como temperatura, umidade relativa, tempo e intensidade de insolação, duração e velocidade dos ventos e contaminação do ar com óxidos de enxofre, cloretos, gases nitrosos e partículas lançadas pelas indústrias.

Esses fatores ambientais determinam a taxa de corrosão do material nos principais meios. Como seria esperado, a vida útil dos produtos zincados é inversamente proporcional à agressividade do meio em que eles se encontram.

### 3.6 Etapas da galvanização eletrolítica

O primeiro passo de qualquer processo de galvanização consiste na limpeza do aço. Para que o acabamento do metal seja perfeito, é preciso que a superfície esteja completamente limpa, livre de óleos, graxas, óxido de ferro, carepa de solda ou tinta. Portanto, o aço é submetido a etapas de desengraxe e decapagem, intercaladas por lavagens com água corrente com pH controlado, para remoção de resíduos entre operações, a fim de que um banho não contamine o outro. Inicia-se então o processo de zincagem. Esquemáticamente, tem-se:

- limpeza mecânica;
- desengraxe;
- enxágüe;
- decapagem



- enxágüe;
- zincagem;
- enxágüe;
- passivação;
- enxágüe;
- secagem;
- acabamento.

Antes de detalhar as principais etapas do processo da galvanização eletrolítica, é apresentada uma lista de recomendações na confecção das peças que serão galvanizadas:

- Fazer cordões de solda contínuos em todo contorno das juntas;
- Colocar respiros em recipientes fechados para saída de gases;
- Evitar ângulos mortos;
- Reforçar chapas finas;
- Evitar pinturas e tintas de marcação;
- Remover crostas de solda;
- Prever possibilidade de içamento;
- Fazer orifícios para entrada e saída de gases.

### 3.6.1 Desengraxe

Esta etapa tem por objetivo garantir a remoção de substâncias orgânicas da superfície do material que se deseja galvanizar, pois sua presença prejudica a ação dos ácidos de decapagem (etapa seguinte) e, por consequência, compromete a aderência do zinco ao metal base.

Para tanto, realiza-se imersão em cubas com soluções alcalinas (a quente ou a frio) e solventes orgânicos para remoção de quaisquer resquícios de materiais orgânicos (óleos, graxas, etc), seguida de lavagem.

### 3.6.2 Decapagem

A decapagem destina-se a remover das superfícies do aço as carepas de laminação e outros óxidos que as recobrem. Realiza-se, portanto, imersão das peças desengorduradas em banho ácido e posterior enxágüe.

A decapagem clorídrica é realizada à temperatura ambiente, com uma solução aquosa de 15 a 17% de HCl. Utiliza-se com freqüência inibidores, de maneira que se remova somente a ferrugem e as escamas (ou carepas) de óxidos e o metal-base seja pouco atacado, e outros aditivos que reduzem a tensão superficial entre o líquido decapante e a peça.

A decapagem com ácido sulfúrico, por sua vez, utiliza uma solução aquosa de 7,5 a 15% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a quente, numa temperatura de 70 a 90°C.

Nos dois modelos de decapagem deve-se ter a precaução de manter a concentração de solução acima de um determinado mínimo, e a escolha do processo pode ser realizada a partir de considerações de ordem técnica e/ou econômica.

A decapagem química por ácidos pode ser substituída por uma decapagem mecânica abrasiva (areia, granalha), que geralmente proporciona espessuras maiores devido à maior rugosidade que provoca e é utilizada em peças fundidas.

O jato abrasivo pode ainda ser usado na limpeza preliminar de peças fundidas e peças de aço laminado, para eliminar salpicos de solda, ferrugem, carepas ou tinta, para tornar áspera à superfície da peça ou para melhorar a ancoragem.

### 3.6.3 Zincagem

Após realizadas as primeiras etapas de preparação das superfícies, inicia-se a fase de zincagem, que consiste na imersão da peça em uma cuba com sais de zinco, onde a corrente elétrica atua promovendo uma reação de oxi-redução que formará o revestimento protetivo.

As células de eletrodeposição variam de acordo com a sua geometria (podendo ser verticais, horizontais ou radiais), o ânodo usado (solúvel ou insolúvel) e a natureza do banho (cloreto ou sulfato de zinco). O número e dimensão das células determinam o limite da velocidade da linha para as espessuras mais elevadas. Operam normalmente com densidade de corrente da ordem dos 100A/dm<sup>2</sup>.

Caso pretenda-se obter revestimentos mais finos, a velocidade da linha pode ser limitada apenas mecanicamente, podendo ser da ordem das várias centenas de metros por minuto. Sendo tais linhas menos produtivas para revestimentos mais espessos, estes últimos são naturalmente mais onerosos.

### 3.6.4 Passivação

Com o intuito de que o revestimento de zinco adquira logo em sua superfície uma capa protetora, procede-se a passivação em soluções cromatizantes a base de ácido crômico e bicromato. Esta passivação origina películas uniformes de cor amarela, azul, castanha ou verde azeitona, dependendo da espessura e do substrato, conferindo a este último boa proteção anticorrosiva e incrementando a aderência dos revestimentos orgânicos.

A manutenção e o controle destes banhos são críticos na sua fase de lavagem final, e ainda que o custo de sua descarga freqüente seja baixo, o custo do tratamento do efluente não o é, o que torna este processo cada vez menos adequado à legislação emergente, pois o cromo hexavalente é tóxico e cancerígeno. Como ainda é desconhecida uma alternativa de equivalente eficiência, deve-se proceder a investigação neste domínio.

### 3.6.5 Acabamento

No mercado de galvanoplastia de acabamentos em geral (*general metal finishing* ou GMF), são fornecidos abrilhantadores, niveladores, umectantes e outros produtos que funcionam como aditivos de processo para refinar os grãos depositados e possibilitar uma cobertura de maior qualidade. Sem o uso dos aditivos, grande parte dos depósitos eletrolíticos teria aspecto rugoso e fosco.

As operações de galvanoplastia se caracterizam por oscilações de desempenho (assim como diversos outros processos produtivos): os banhos começam a funcionar com um alto desempenho, que diminui à medida que se reduzem os teores de sais e metais nos banhos e os aditivos se desgastam. O banho também começa a sofrer os efeitos de contaminação e, em certo ponto do baixo desempenho, são feitos reforços que novamente aumentam o desempenho.

## 3.7 Outras formas de eletrodeposição de zinco

### 3.7.1 Zinco-ferro eletrodepositado

Eletrodepositado por um processo similar ao usado para o zinco eletrolítico, usando apenas um eletrólito diferente, o zinco-ferro eletrodepositado é atualmente aplicado sobre chapas de aço destinadas às partes expostas. Este revestimento de liga apresenta usualmente 15 a 25% de ferro na sua composição e é aplicado com espessuras superiores a 7 µm (50 g/m<sup>2</sup> por face).

Devido, entre outras, à sensibilidade da composição deste revestimento, e à tendência para os íons ferrosos se oxidarem na solução eletrolítica passando a íons férricos insolúveis, a eletrodeposição destes revestimentos pode ser mais difícil do que a do zinco ou a do

zinco-níquel. Tal fato tem constituído uma limitação na expansão das aplicações deste material na indústria, que tem limitado as mesmas a superfícies expostas, cujas características desejadas são mistas entre a resistência do galvanizado por imersão a quente e a uniformidade e a aparência superficial do aço eletrozincado.

A microestrutura deste material revela a existência de finas camadas que correspondem ao número de células de eletrodeposição na linha.

### 3.7.2 Zinco-níquel eletrodepositado

Estes revestimentos são eletrodepositados por processos similares aos descritos para o zinco, com exceção da composição do eletrólito. Envolvendo banhos ácidos ou alcalinos, são tipicamente aplicados numa gama de espessuras compreendida entre 3 e 6  $\mu\text{m}$  (20 a 40  $\text{g}/\text{m}^2$ ) e são usados para revestir painéis de aço destinados às partes expostas ou não.

Estes revestimentos apresentam em seção transversal uma microestrutura fissurada de grão fino, característica da fase gama do intermetálico de zinco-níquel, com, geralmente, 10 a 14% de Ni. A superfície apresenta uma microestrutura nodular e sem facetas cristalográficas características do zinco eletrodepositado.

### 3.7.3 Zinco-níquel eletrodepositado e orgânico

Desenvolvido inicialmente no Japão, e atualmente disponível nos EUA e na Europa, este produto inclui, além do zinco-níquel eletrodepositado, uma película de passivação à base de cromato e um acabamento orgânico de 1 a 2  $\mu\text{m}$  de espessura.

A película orgânica é apenas aplicada numa das faces da chapa, a qual é colocada para o interior com o objetivo de criar uma barreira mais eficiente à corrosão perfurante típica das regiões que não podem receber o tratamento de fosfatização e a pintura cataforética após montagem. Esta película não necessita da adição de partículas metálicas para originar condutividade elétrica para a soldagem por pontos e a superfície externa destas regiões pode ser revestida ou não com zinco-níquel.

À exceção da barreira orgânica aplicada, o aspecto geral deste revestimento é idêntico em seção transversal ao do Zn-Ni.

Após a aplicação da camada de zinco-níquel, as películas de pré-tratamento e orgânico são aplicadas numa linha convencional de banda pré-revestida.

Ainda que as duas películas pudessem ser aplicadas separadamente, o processo contínuo evita problemas associados à aplicação de um revestimento orgânico sobre uma superfície com alterações (oxidação ou oleagem) entre os dois passos de preparação do revestimento.

### 3.7.4 Outros revestimentos de ligas de zinco

Neste grupo de revestimentos incluem-se entre outras as ligas de zinco-cobalto, zinco-cobalto-cromo e as ligas de estanho-zinco.

As ligas zinco-cobalto também podem ser obtidas por banhos ácidos ou alcalinos e são conhecidas pela sua estabilidade a altas temperaturas.

Estudos comprovaram que as ligas de zinco-cobalto-cromo revelaram maior resistência a ensaios cíclicos de exposição acelerada e à exposição natural do que as apresentadas pelo Zn-Ni, com partículas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dispersas.

Os revestimentos estanho-zinco foram desenvolvidos para incrementar a condutividade do revestimento em aplicações diversas.

### 3.8 Vantagens da galvanização

#### 3.8.1 Custo competitivo e menor custo de manutenção

O custo inicial baixo e a durabilidade fazem com que a galvanização seja o meio mais versátil e econômico para se proteger o aço e o ferro fundido por longos períodos contra a corrosão atmosférica, eliminando-se manutenções intermediárias.

Nos equipamentos ou nas estruturas localizadas em áreas de difícil acesso, montadas de forma compacta ou ainda com restrições quanto à segurança (por exemplo, torres de eletrificação), o aumento dos intervalos de manutenção reduz os custos decorrentes desta operação e da interrupção de serviços.

Em muitos casos, a galvanização torna a manutenção até desnecessária; mas, quando ela é indispensável, sua execução se faz sem pré-tratamentos complexos.

#### 3.8.2 Durabilidade

A durabilidade dos produtos galvanizados é diretamente proporcional à espessura do revestimento de zinco e, inversamente, à agressividade do meio ambiente. Costuma atingir 10 anos em atmosferas industriais, 20 anos na orla marítima e, freqüentemente, mais de 25 anos em áreas rurais.

#### 3.8.3 Rapidez do processo (e de utilização)

Com a galvanização, pode-se obter um revestimento completo sobre uma peça em alguns minutos, enquanto que por outro processo seriam necessárias horas ou dias. As modernas linhas de zincagem contínua, por exemplo, produzem, no ritmo de 500 m<sup>2</sup>/min, chapas com excelente qualidade de revestimento.

Logo após a galvanização, a peça está pronta para ser utilizada, sem exigir preparação da superfície (lisa e brilhante), retoques ou pintura.

#### 3.8.4 Inalteração das propriedades da peça

O revestimento de zinco eletroliticamente depositado não é unido metalurgicamente ao aço pela formação de camadas de liga Fe-Zn e Zn, como na galvanização a quente, e nem a peça precisa ser tratada a temperaturas muito elevadas que alterem a sua estrutura granular, desta forma, suas propriedades permanecem praticamente inalteradas. A seguir, são citados três importantes aplicações deste fato.

- Enquanto um eletrodo de soldagem pode permitir fazer 10.000 pontos durante a soldagem do aço não revestido, tal número é normalmente reduzido pela presença de revestimentos. Neste caso, este efeito negativo é menos acentuado em aços eletrozincados do que nos galvanizados a quente, provavelmente devido à presença de alumínio no segundo;
- As temperaturas usadas nas operações de eletrodeposição não afetam significativamente as características do aço substrato a ser estampado, ao contrário dos processos de galvanização por imersão a quente;
- Pela capacidade de unir materiais diferentes, não afetar as características do aço, reduzir o ruído e vibração, e por distribuir uniformemente as tensões, as uniões por colagem são cada vez mais utilizadas na indústria. Tem sido encontrado por vários autores que, ainda que a resistência à corrosão das juntas de chapas revestidas coladas seja geralmente tão boa, ou melhor, do que a observada com chapas não revestidas, a durabilidade das juntas de chapas de aço eletrozincado aumenta com a espessura de revestimento.



### 3.8.5 Versatilidade de aplicação

O revestimento pode ser aplicado desde um parafuso até grandes estruturas, protegendo a peça até mesmo se a cobertura não for perfeita, devido à proteção catódica.

### 3.8.6 Grande resistência mecânica

Esta característica confere ao produto galvanizado uma grande resistência a avarias mecânicas durante a manipulação, estocagem, transporte e instalação, evitando retoques nestas operações.

### 3.8.7 Proteção completa da peça

Toda a peça é revestida, superfícies internas, externas, cantos vivos e fendas estreitas nas quais a proteção por outros processos seria muito difícil. Além disto, a galvanização mantém a espessura do revestimento nos cantos e bordas, o que não ocorre em outros processos.

O revestimento aplicado pela galvanização protege o aço de três maneiras:

- O revestimento de zinco sofre uma corrosão ambiental mínima, sob ação do meio ambiente, o que proporciona uma vida longa e previsível;
- O revestimento é corroído preferencialmente fornecendo uma proteção catódica (de sacrifício) para as pequenas áreas da peça expostas ao meio ambiente devido, por exemplo, ao esmerilhamento, cortes ou danos acidentais. Se o revestimento for riscado, os sulcos são preenchidos por compostos de zinco formados pela corrosão ambiental, os quais impedem que o metal base seja corroído;
- Quando a área danificada for extensa, a proteção catódica do zinco impede que a corrosão se propague sob o revestimento.

### 3.8.8 Confiabilidade

O processo de galvanização é simples, direto e totalmente controlado. A espessura (massa) do revestimento formado é uniforme, previsível e de simples especificação.

### 3.8.9 Facilidade de inspeção

O produto galvanizado pode ser facilmente inspecionado. A natureza do processo é tal que, se o revestimento parece contínuo e perfeito, ele realmente é. Além disto, a espessura do revestimento pode ser facilmente verificada a qualquer momento, através de equipamento magnético ou por testes não destrutivos.

## 3.9 Pintura sobre aços galvanizados

A pintura de aços galvanizados é utilizada por razões estéticas, para identificação ou sinalização ou para aumentar a resistência à corrosão sob condições severas de serviço ou exposição (FIG. 12). O revestimento de zinco proporciona uma base estável que aumenta muito a vida da pintura, enquanto a película de pintura protege o revestimento de zinco, resultando num efeito sinérgico, onde a combinação dos dois revestimentos promove uma duração maior de que a soma da duração de cada um.



Figura 12 - Chapas galvanizadas e pintadas  
Fonte: VEGA DO SUL

Por serem fáceis de encontrar, as tintas alquídicas, ou *primers sintéticos*, são freqüentemente especificadas para aplicação em estruturas de aço galvanizado. É comum que, meses após a aplicação, comecem a apresentar destacamento.

Os óleos vegetais que compõem as resinas contêm ácidos graxos. Estes ácidos reagem em contato com os produtos de corrosão do zinco, que têm caráter alcalino, formando sabão de zinco. Com a alta permeabilidade, após algum tempo, a tinta está aderida não ao substrato, mas, sobre os produtos de corrosão - óxido, hidróxido e sabões de zinco. Como são solúveis, esses produtos ocasionam o surgimento de bolhas, agravando ainda mais o destacamento.

O envelhecimento precoce da camada alquídica é outro efeito negativo da má utilização dessas tintas sobre o zinco. Ao perder aderência e flexibilidade, ocorre o fissuramento, aumentando ainda mais a penetração de água na interface metal-tinta.

O uso de tinta epóxi-isocianato evita tais patologias. Além de se ligar quimicamente ao metal, é insaponificável e oferece base de aderência para sistemas de pintura alquídicos, acrílicos, epóxi e poliuretano, dentre outros.

A manutenção do aço zincado depende do estado evolutivo da corrosão. Aquele que apresenta apenas corrosão leve pode ser recuperado com a lavagem com água e tensoativo, escovação e aplicação de tinta epóxi-isocianato. Esta recuperação é realizada seguindo os procedimentos descritos a seguir:

- lavar com água e tensoativo (detergente biodegradável) usando escova de nylon ou manta não tecida;
- enxaguar com água limpa;
- deixar secar naturalmente ou usar ar comprimido;
- limpar com escova de arame de aço ou com lixadeira (disco de escova);
- remover a poeira (escovas de pêlo ou ar comprimido);

- aplicar a tinta de fundo tolerante (epoximastic);
- aplicar a tinta de acabamento (poliuretânica ou alquídica).

### **3.10 Galvanização eletrolítica e o meio ambiente**

O segmento de galvanoplastia é conhecido por sua agressividade ao meio ambiente. Em contrapartida, as empresas contemporâneas têm investido em lançamentos com tecnologias não-poluentes, seja pelo apelo ecológico, seja pelas restrições e pesadas multas aplicadas aos poluidores.

A diminuição da quantidade de cianetos, e em muitos casos a sua eliminação nas formulações, é uma das principais conquistas dessa indústria rumo a produtos ecologicamente corretos. Não por coincidência, os produtos "verdes" (banhos de cobre alcalino e zinco sem cianetos) são os de maior demanda, ao lado dos vernizes eletroforéticos.

Embora o uso do cianeto tenha custo ambiental elevado, banhos com cianetos são mais robustos, pois o cianeto é capaz de limpar sujeiras que não saíram na etapa de desengraxamento. Por isso, algumas galvanicas pouco engajadas chegam até a usar excesso do produto nos banhos eletrolíticos.

Dentre os produtos menos poluentes desenvolvidos que podem ser citados como exemplo, tem-se os desengraxantes biológicos. Tanto as chapas como as peças metálicas a serem tratadas chegam à galvanização impregnadas de óleo, proveniente das prensas de estampagem ou do embobinamento das chapas, e sua retirada é essencial à garantia de qualidade dos processos de deposição. Para isso são usados os desengraxantes.

Os desengraxantes biológicos permitem que após sua utilização, o óleo, acompanhado de uma solução de pH e temperatura controlados, seja consumido por bactérias, gerando água e gás carbônico. Assim, o desengraxante é regenerado, sem a necessidade de descarte de volumes que podem ser de 3 mil a 4 mil litros mensais, e que precisam ser necessariamente tratados em estações de tratamento de efluentes. O produto também prolonga a vida útil dos banhos eletrolíticos.

A passivação, etapa do processo cujo objetivo é tornar superfícies metálicas mais resistentes à corrosão, também foi influenciada pelas preocupações com o meio ambiente (ou com as pesadas multas impostas aos infratores das leis ambientais). Existem empresas que oferecem produtos de passivação isentos de cromo hexa ou trivalente. Este tipo de produto de passivação é composto por selantes orgânicos com três camadas: uma de zinco, outra de selante e uma terceira com 22% de alumínio. Conforme a legislação, desde 2002, a indústria automobilística deve respeitar o limite de 2 g de cromo por veículo, e a partir de 2007 a isenção de cromo deve ser total. Também deverão estar banidos componentes como o asbesto, o amianto, o chumbo e o cádmio.

Esta tendência à consciência ambiental estimulou a concepção e utilização de eletrodos inertes e catalisadores dissolvidos em uma câmara, onde o operador é responsável por alimentar o banho com zinco de sódio, combinados a um gerador automático de zinco no banho e um controle rigoroso das grandezas voltométricas do processo, de modo a manter a operação no ponto ótimo, com as flutuações atenuadas.

Entre alguns equipamentos, encontram-se no mercado sistemas de dosagem; equipamentos para cromo trivalente que retiram as contaminações metálicas sem a adição de purificadores ao banho; e equipamentos para a remoção das contaminações orgânicas dos banhos eletrolíticos (resíduos de desengraxante e resíduos dos próprios aditivos, cadeias orgânicas que só têm efeito enquanto longas, mas que tendem a se quebrar e neste estado se tornam contaminantes do processo).

## **4 NORMAS TÉCNICAS**

Existem inúmeras normas nacionais e internacionais que regulamentam o processo de

galvanização especificando materiais, produtos, aplicações, espessuras, uniformidade, ensaios, etc.

As normas técnicas a seguir, citadas a título de exemplo, são publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (<http://www.abnt.org.br/>).

TABELA 2 - Espessura do revestimento de zinco exigido pela norma ABNT NBR 3623.

Espessuras (e) MATERIAL	Massa Mínima por unidade de área (g/m <sup>2</sup> )		Espessura mínima equivalente do revestimento (µm)	
	Amostra individual	Média das amostras	Amostra individual	Média das amostras
Fundidos	550	600	77	85
Conformados mecanicamente				
e < 1,0 mm	300	350	42	49
1,0 mm < e < 3,0 mm	350	400	49	56
3,0 mm < e < 6,0 mm	450	500	63	70
e > 6,0 mm	530	600	74	84

NBR 7398 - Verificação da aderência do revestimento. Ensaio mecânico.

NBR 7399 - Espessura do revestimento. Ensaio utilizando aparelhos magnéticos. (u)

NBR 7400 - Uniformidade do revestimento. Ensaio químico – Preece;

NBR 8094 – Material metálico revestido ou não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina.

NBR 8095 - Material metálico revestido ou não revestido – Corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada.

NBR 10476 – Revestimentos de zinco eletrodepositado sobre ferro ou aço.

NBR 11297 – Execução de sistema de pintura para estruturas e equipamentos de aço carbono zincado.

## Conclusões e recomendações

A proteção depende essencialmente da energia dispensada. Quanto mais energia é fornecida, maior é a camada depositada. Quanto maior a camada, maior a proteção verificada.

Recomenda-se contratar empresas associadas à Associação Brasileira da Construção Metálica - ABCEM. Só tem direito ao credenciamento aquelas empresas que possuem um padrão de qualidade comprovado, pois existem muitos profissionais despreparados tecnicamente para a execução do serviço. Como em qualquer negócio, a concorrência de preços é grande e um serviço que a princípio custe muito mais barato é passível de desconfiança.

Nenhum componente está livre de sofrer danos. Nesses casos, e para constatar falhas de execução, as manutenções periódicas facilitam e tornam menos onerosas as correções, que devem, sempre que possível, repetir o sistema de pintura.

Existem inúmeros ensaios e procedimentos para se acompanhar e atestar a qualidade da operação (espessura, porosidade, pesagem, decapagem ácida, magnéticos; uniformidade, aderência, exposição à névoa salina/úmida, Microscopia Eletrônica de Varredura, etc).

## Referências

ALMEIDA, M. E. M. **Guia sobre proteção anticorrosiva na indústria automível**. [S. l.]:



PROTAP.

AZEVEDO, M. Tratamento de superfície: apelo ecológico predomina nos novos produtos. **Revista Química e Derivados**, n. 459, mar. 2007. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/revista/qd427/superficie1.htm>>. Acesso em: 27 jun. 2007.

CABRAL, E. R.; MANNHEIMER, W. A. **Galvanização – sua aplicação em equipamento elétrico**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S/A, 1979.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Tratamento contra o tempo**. Disponível em <[http://www.cbca-ibs.org.br/noticias\\_exibe.asp?Codigo=359&Refresh=2007527348](http://www.cbca-ibs.org.br/noticias_exibe.asp?Codigo=359&Refresh=2007527348)>. Acesso em: 27 jun. 2007.

GALVANISA. **Processos de tratamento**: galvanização eletrolítica. Disponível em <<http://www.galvanisa.com.br>>. Acesso em: 26 jun. 2007.

GALVOATA. Disponível em <[www.galvoata.com.br](http://www.galvoata.com.br)>. Acesso em: 28 jun. 2007.

INSTITUTO NACIONAL DOS DISTRIBUIDORES DE AÇO. **Por dentro do aço – contra a corrosão**. Disponível em <[http://www.inda.org.br/por\\_dentro\\_corrosao.php](http://www.inda.org.br/por_dentro_corrosao.php)>. Acesso em: 27 jun. 2007.

MAGNUM. Disponível em: <[www.magnum.ind.br/magnum/index.php?secao=3](http://www.magnum.ind.br/magnum/index.php?secao=3)>. Acesso em: 13 jul. 2007.

MANGELS. **Galvanização**. Disponível em <[http://www.mangels.com.br/galvanizacao/g\\_intro.asp](http://www.mangels.com.br/galvanizacao/g_intro.asp)>. Acesso em: 28 jun. 2007.

MSPC. **Fundamentos da corrosão**. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/corr1.asp>>. Acesso em: 13 jul. 2007.

PANNONI, F. D. **A proteção frente à corrosão é realmente sempre necessária**. [S. l.]: Gerdau Açominas. Apostila.

PORTAL DA GALVANIZAÇÃO. **Comparativo entre a zincagem por imersão a quente e a pintura**. Disponível em: <<http://www.portaldagalvanizacao.com.br/custos.asp>>. Acesso em: 11 jul. 2007.

PORTAL METALICA. **Galvanização a fogo**. Disponível em <[http://www.metalica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=165](http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=165)>. Acesso em: 27 jun. 2007.

PORTAL METALICA. **Entrevista de Ulysses B. Nunes**. Disponível em <[http://www.metalica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?id\\_pag=1376](http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1376)>. Acesso em: 27 jun. 2007.

RESUME GALVANIZAÇÃO. **Galvanização**. Disponível em <[www.resumegalvanizacao.com.br](http://www.resumegalvanizacao.com.br)>. Acesso em: 28 jun. 2007.

SANTA CLARA. **Galvanização**. Disponível em: <<http://www.santaclarasa.com.br/Galvanizacao.aspx>>. Acesso em: 28 jun. 2007.

VEGA DO SUL. Disponível em: <[http://www.vegadosul.com.br/produtos\\_mercado.html](http://www.vegadosul.com.br/produtos_mercado.html)>. Acesso em: 16 jul. 2007.

WHITE MARTINS. **Informe técnico**. Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/download/13ddp.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2007.

WIKIPEDIA. Disponível em: <[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>. Acesso em: 13 jul. 2007.

**Nome do técnico responsável**

Ladislau Nelson Zempulski  
Marina Fernanda Stocco Zempulski

**Nome da Instituição do SBRT responsável**

Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR

**Data de finalização**

18 jul. 2007