

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## Utilização da galvanização por imersão a quente em estruturas de *Wind Fence* Luiza Abdala<sup>a</sup>, Daniele B. P. Albagli<sup>b</sup>

### Abstract

Wind Fences are metallic tower structures closed with polypropylene mesh which works as a barrier in order to control wind incidence over stockyards. Companies throughout the world have been using large Wind Fence structures to protect the environment, as they reduce the dust originated from materials stacks. Research points that this equipment can reduce up to 90 % of dust emission. In 2013, in order to improve environmental management in its coke terminal in Imbituba Port (SC), Votorantim Cement business installed a 37 m high Wind Fence. The structures integrity on the long term was a big concern, due to the extremely intense corrosive environment: oceanfront, high chloride content and strong incidence of wind containing abrasive particles. In order to guarantee the structures lifespan, hot dip galvanizing was the recommended corrosion protection method. To compare performance, two out of ten towers were galvanized, and the rest were painted. After 2 years, the hot dip galvanized towers outperformed the painted ones. This work details all parameters and results of the study.

**Keywords:** wind fence, corrosion, hot dip galvanizing.

### Resumo

*Wind Fences* são estruturas metálicas, fechadas com telas de polipropileno, que servem como barreira para controlar a incidência de vento em pátios de estocagem. Wind Fences de grande porte estão sendo utilizadas por empresas para servir como proteção ao meio ambiente, diminuindo a poeira que vem das pilhas de materiais armazenados. Estudos estimam que este tipo de equipamento pode reduzir em até 90 % as emissões de poeira. Em 2013, com o objetivo de melhorar a gestão ambiental no terminal de coque do porto de Imbituba (SC), a Votorantim Cimentos instalou uma estrutura de *Wind Fence* de aproximadamente 37 m de altura. A integridade das estruturas no longo prazo era preocupante, já que estas estão expostas a um ambiente extremamente agressivo: frente ao mar, local com alto teor de cloretos e com grande incidência de ventos com particulados abrasivos contidos. Visando a maior vida útil da estrutura, foi recomendado que se utilizasse a galvanização por imersão a quente como forma de proteção contra a corrosão. Para fins de comparação de desempenho, duas das dez torres instaladas foram galvanizadas. Após acompanhamento, a galvanização por imersão a quente apresentou um ótimo desempenho para esta aplicação, quando comparado com a pintura. O trabalho detalha os parâmetros controlados e os resultados obtidos.

<sup>a</sup> Engenheira Química – VOTORANTIM METAIS

<sup>b</sup> Engenheira Química – VOTORANTIM METAIS

**Palavras-chave:** *Wind fence*, corrosão, galvanização por imersão a quente.

## **Introdução**

---

*Wind Fence* é o nome dado a estruturas metálicas fechadas com telas de polipropileno que servem como barreira para controlar a incidência de vento em pátios de estocagem. Seu tamanho varia conforme a aplicação. As *Wind Fence* de grande porte estão sendo utilizadas por empresas para servir como proteção ao meio ambiente, diminuindo a poeira oriunda das pilhas de materiais armazenados, como, por exemplo, minério de ferro, carvão, coque, entre outros. Os estudos que avaliam a eficiência das *Wind Fence* estimam que este tipo de equipamento pode reduzir em até 90 % as emissões de poeira. A Vale foi pioneira na implantação de uma *Wind Fence* no Brasil, em 2009 e, desde então, diversas empresas investiram em estruturas similares.

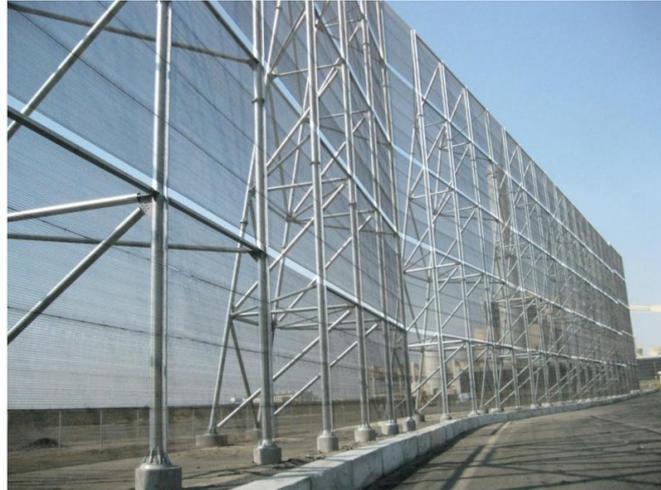
Em 2013, com o objetivo de melhorar a gestão ambiental no terminal de coque do porto de Imbituba (SC), a Votorantim Cimentos instalou uma estrutura de *Wind Fence* de aproximadamente 37 m de altura. O equipamento recebeu um investimento de R\$ 6 milhões para reduzir a incidência do vento sobre a pilha de coque em até 80%, preservando a saúde da população da região, bem como evitando a propagação de particulados no meio ambiente. Foram instaladas dez torres de estrutura metálica, fechadas com uma tela de material especial para este tipo de fechamento. Originalmente, o projeto especificava torres metálicas apenas pintadas.

Tendo em vista o local de aplicação da estrutura, de alta corrosividade, foi então sugerido, que as estruturas fossem galvanizadas por imersão a quente, como forma de proteção contra a corrosão. Por opção de projeto, apenas duas torres foram galvanizadas (Torres nº 9 e nº 10), a fim de comparar o seu desempenho com as demais oito torres, as quais foram somente pintadas.

## **Galvanização por Imersão a Quente**

---

Em um projeto com tamanha complexidade e em que a integridade das estruturas é extremamente importante no longo prazo, recomenda-se utilizar algum tipo de sistema de proteção contra a corrosão, para garantir maior vida útil ao projeto. A galvanização por imersão a quente se mostrou uma opção viável economicamente e de simples execução, além de já ter sido utilizada em inúmeros projetos de *Wind Fence*, no mundo.



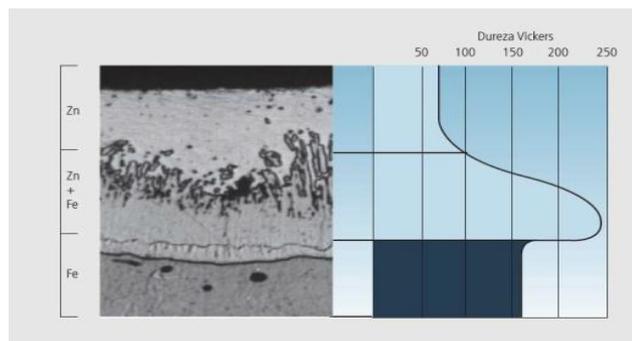
**Figura 1 – Wind Fence galvanizada de proteção para pilha de carvão em Pueblo, Colorado, EUA.**

O processo de galvanização por imersão a quente, também conhecido como galvanização a fogo, consiste na imersão de peças de aço ou de ferro fundido (de variados formatos, pesos e complexidades) em um banho de zinco fundido a 450 °C, garantindo ao aço maior proteção contra a corrosão. O rápido ataque da superfície da estrutura pelo zinco fundido produz uma camada composta por diferentes ligas ferro-zinco (Figura 2), que desenvolvem uma ligação muito forte com sua superfície. Esta união é chamada interação metalúrgica. Após a remoção da estrutura do banho de zinco fundido, além da camada intermetálica, é formada uma camada de zinco puro na superfície, produzindo uma coloração brilhante, acinzentada ou prateada, bastante característica.



**Figura 2 - Imagem do corte da camada de Zinco sobre o aço após galvanização.**

As camadas de liga mais próximas do aço são mais rígidas, às vezes até mais rígidas do que a própria base do aço. Essa combinação oferece um revestimento rígido e resistente à abrasão (Figura 3).



**Figura 3 - Microseção da camada galvanizada por imersão a quente, mostrando as variações da rigidez através do revestimento. As ligas de zinco-ferro são mais rígidas do que a base do aço.**

Assim, o aço é protegido contra a corrosão por meio de dois mecanismos: proteção por barreira exercida pela camada de revestimento e proteção catódica (camada Zn-Fe). O zinco, por ser mais eletronegativo que o aço, sofre corrosão preferencial em relação ao aço e sacrifica-se para protegê-lo, então a galvanização por imersão a quente oferecerá essa proteção catódica. Os produtos de corrosão do zinco são aderentes e insolúveis, e se depositam sobre a superfície do aço, isolando-o da atmosfera, evitando a corrosão em um processo semelhante à cicatrização.

A taxa de corrosão para o zinco é geralmente linear em um determinado ambiente permitindo, portanto, estimar o tempo de vida do revestimento com base em avaliações da sua espessura e através das taxas de corrosão para uma determinada categoria de corrosividade, de acordo com a norma ABNT NBR 14643 “Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade de atmosferas”, indicada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Taxas indicativas de corrosão para ambientes diferentes (categorias de corrosividade de acordo com a ABNT NBR 14643).**

<b>Categoria de Corrosividade</b>	<b>Taxa média anual de corrosão do Zinco (<math>\mu\text{m}/\text{ano}</math>)</b>	<b>Taxa média anual de corrosão do Aço--carbono (<math>\mu\text{m}/\text{ano}</math>)</b>
C1: Interior seco	< 0,1	< 1,3
C2: Interior – condensação ocasional Exterior – rural	0,1 a 0,7	1,3 a 25
C3: Interior – alta umidade, pouca poluição no ar Exterior – interior urbano ou costa urbana	0,7 a 2,1	25 a 50
C4: Interior – piscinas, plantas químicas Exterior – interior industrial ou costa urbana	2,1 a 4,2	50 a 80
C5: Exterior – industrial com alta umidade ou alta salinidade	4,2 a 8,4	80 a 200

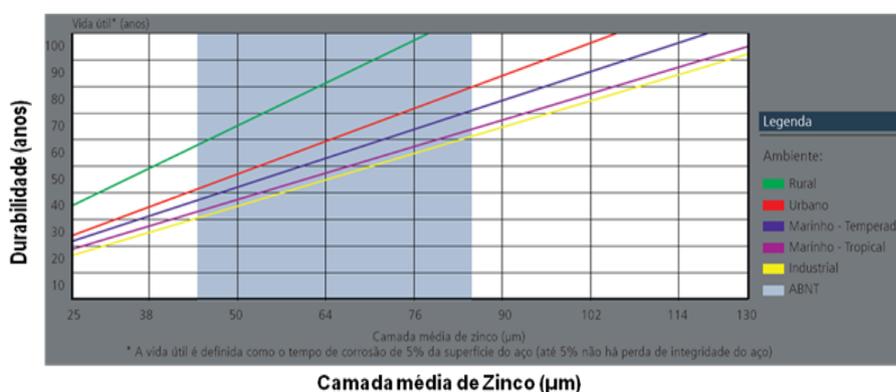
A galvanização promove o aumento da vida útil de estruturas. O verdadeiro custo para proteger estruturas de aço da corrosão compõe-se de dois elementos importantes para

comparação/definição do sistema a ser utilizado: o custo inicial de proteção e o custo durante a vida útil, que inclui o custo de manutenção, que é o custo em se garantir que o aço estará protegido contra corrosão durante sua vida de serviço. O custo total para proteger uma estrutura de aço durante sua vida depende do custo e da durabilidade do revestimento inicial, do ambiente em que está inserido e do custo e frequência de quaisquer tratamentos subsequentes. Na maioria das aplicações, a galvanização promoverá a vida longa da estrutura, livre de manutenção, diferentemente do que ocorre no caso do uso de pintura.

Para a correta proteção do aço galvanizado, de acordo com a espessura da estrutura e o ambiente em que está inserido, são necessárias diferentes espessuras de revestimento. A Tabela 2 a seguir mostra as espessuras mínimas requeridas de acordo com a espessura do aço que será submetido ao processo de galvanização, de acordo com a norma ABNT NBR 6323, que abrange o processo de galvanização por imersão a quente para estruturas metálicas em geral. A Figura 4 mostra a durabilidade esperada para uma estrutura de aço galvanizado de acordo com a espessura da camada e o ambiente em que está inserido.

**Tabela 2 - Espessura mínima de galvanização requerida de acordo com a espessura da peça de aço, de acordo com a norma NBR 6323.**

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	450	4500	63	70
Conformados mecanicamente				
Espessuras (e):				
e < 2,0 mm	300	350	42	49
2,0 mm < e < 4,0 mm	350	400	49	56
4,0 mm < e < 6,0 mm	450	500	63	70
Roscados				
9,5 mm	305	380	43	53
< 9,5 mm	260	305	37	42



**Figura 4 - Microseção da camada galvanizada por imersão a quente, mostrando as variações da rigidez através do revestimento. As ligas de zinco-ferro são mais rígidas do que a base do aço.**

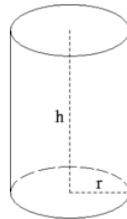
## Acompanhamento

### 1. Camada Inicial de Galvanização

No momento da saída da galvanizadora, não foi medida a espessura da camada de galvanização, com medidor de espessura de camada. No entanto, se pode calcular a espessura média de revestimento na estrutura, tendo o adicional em massa do revestimento. Conforme informações da empresa que realizou a galvanização, a torre 09, de 21,128 m de altura e 813 mm de diâmetro, teve um acréscimo de massa de 300 kg após galvanização (de 7.160 kg originais para 7.460 kg na saída da galvanizadora). Já a torre 10, de 16,148 m de altura e 813 mm de diâmetro teve adicionados 220 kg após o processo de zincagem (de 5.430 kg originais para 5.650 kg após o processo). Através da Equação 1, área superficial do cilindro, foi possível calcular a área de revestimento. Como a torre foi galvanizada e o revestimento se deu tanto na área externa quanto na área interna da peça, multiplicou-se esta área por 2. Posteriormente, foi calculada a massa por área em  $\text{g/m}^2$ .

$$\text{Área lateral do cilindro} = 2 \times \pi \times r \times h$$

Onde  $r$  = raio do cilindro e  $h$  = altura do cilindro, de acordo com a Figura 5.



**Figura 5 – Cilindro de raio  $r$  e altura  $h$**

Assim, a área total galvanizada calculada da torre 09 foi de  $107,93 \text{ m}^2$  e, portanto, a massa de revestimento por área é de  $2,78 \text{ kg/m}^2$ . Já a torre 10 tem área calculada de  $82,49 \text{ m}^2$  e massa de revestimento por área de  $2,67 \text{ kg/m}^2$ . Para transformar a medida de massa de revestimento por área para espessura de camada de revestimento de zinco, em metros, basta dividir este valor pela densidade do material do revestimento em  $\text{g/m}^3$ . A densidade do zinco é  $7.140 \text{ kg/m}^3$ . Assim, a espessura média calculada na torre 09 foi de  $389 \text{ }\mu\text{m}$  e na torre 10, a espessura média calculada foi de  $373 \text{ }\mu\text{m}$ . Estas são espessuras típicas encontradas após galvanização por imersão a quente de estruturas de grande porte, através de processos por bateladas e atendem a norma ABNT NBR 6323.

### 2. Primeira Inspeção 24/04/2014 – Medição de Camada

Como método de acompanhamento da proteção nas estruturas, o plano de acompanhamento prevê inspeções a cada dois anos na estrutura. Foram realizadas medições ao longo das torres a fim de registrar as espessuras de revestimento presentes nas estruturas após pouco mais de um ano de sua instalação. A medida de espessura de camada de galvanização é feita com um

aparelho eletromagnético que mede a distância entre o sensor (que é colocado na superfície da peça galvanizada) e o substrato de aço, assim, mede a espessura do revestimento, conforme Figura 6.



**Figura 6 – Medidor de espessura de camada de revestimento de zinco sobre o substrato de aço.**

Foram medidas as espessuras tanto na face frontal da estrutura (Frente - inspetor de frente para o mar), quanto do outro lado (Verso – inspetor de costas ao mar), a cada 20 cm, partindo-se de uma altura de 2,2 m. A Tabela a seguir mostra as espessuras encontradas nas medidas da torre 09.

**Tabela 3 - Medidas de espessura de camada de revestimento de zinco encontradas na torre 09**

Pontos de medida	Alturas das medidas (m)	Espessura do revestimento ( $\mu\text{m}$ )	
		Frente	Verso
01	2,2	245	263
02	2,0	282	266
03	1,8	247	263
04	1,6	245	249
05	1,4	230	196 (sobre ponto de solda)
06	1,2	271	241
07	1,0	249	260
08	0,8	229	253
09	0,6	253	244
10	0,4	235	223
11	0,2	241	171 (sobre ponto de solda)
<b>Média</b>		<b>243</b>	

Em seguida, realizou-se o mesmo procedimento na torre 10 para medida da espessura.

**Tabela 4 - Medidas de espessura de camada de revestimento de zinco encontradas na torre 10**

Pontos de medida	Alturas das medidas (m)	Espessura do revestimento ( $\mu\text{m}$ )	
		Frente	Verso
01	2,2	256	277
02	2,0	215	221
03	1,8	216	210
04	1,6	182	221
05	1,4	216	220
06	1,2	227	212
07	1,0	216	241
08	0,8	145	219
09	0,6	123	189
10	0,4	160	154
11	0,2	163	157
<b>Média</b>		<b>202</b>	

Assim, nota-se que mesmo dois anos após a instalação das estruturas em um ambiente agressivo a espessura do revestimento ainda é suficiente para proteção adequada da estrutura, com espessuras muito acima do exigido pela norma ABNT NBR 6323.

### 3. Primeira Inspeção 24/04/2014 – Visual

Na ocasião, também foram realizadas inspeções visuais nas torres galvanizadas e nas demais torres pintadas, a fim de avaliar seu desempenho. Notou-se, conforme Figuras 7 e 8, que, no momento de instalação, os engenheiros optaram por retocar alguns pontos das torres galvanizadas. Esse procedimento é considerado aceitável visando a maior durabilidade da estrutura, principalmente nos pontos próximos aos locais de solda.



**Figura 7 – Torres 09 e 10 – Galvanizadas a fogo**



**Figura 8 – Torre 10 – Galvanizadas a fogo**

Em ambas as torres galvanizadas, não foram observados pontos de corrosão. No entanto, quando se compara visualmente com as torres pintadas, nota-se que nas estruturas pintadas já existem pontos foco de corrosão, onde a tinta já começa a deslocar, conforme Figuras 9 e 10.



**Figura 9 - Torre 06: Ponto foco de corrosão com a tinta já começando a deslocar em função da formação de óxido de ferro com maior volume**



**Figura 10 - Torre 04: Diversos pontos foco de corrosão**

## **Conclusões**

---

Após a primeira inspeção, já fica evidente que para um ambiente de extrema corrosividade, de alto teor de cloretos e incidência de ventos fortes com partículas abrasivas, a galvanização por imersão a quente se mostra uma solução mais adequada para evitar a corrosão. Tendo em vista o tamanho das estruturas, e que a montagem se dá no local da obra, quanto maior for a resistência e aderência do revestimento, melhor será a solução, pois muitas vezes revestimentos superficiais como a pintura já se danificam na montagem. Como a galvanização por imersão a quente proporciona a formação de uma camada intermetálica entre o substrato de aço e o zinco, mesmo que hajam danos no revestimento, o mesmo continuará protegido.

Este projeto de acompanhamento terá continuidade nos próximos anos, com inspeções a cada dois anos para avaliar as performances das soluções adotadas – galvanização por imersão a quente e pintura, e também estimar o custo total envolvido em cada solução. Será avaliado não só o custo inicial de cada sistema, mas também os custos de manutenção ao longo do tempo.

## **Referências bibliográficas**

---

- (1) GA – GALVANIZERS ASSOCIATION. **General galvanizing practice**. 3. Ed., 1999.
- (2) IZA - INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION. GalvInfo Center, 2011.