

# **Estudo de caso sobre o comportamento da corrosão de estruturas galvanizadas das barreiras de ventos conhecidas como Wind Fences**

Autor: Mariana Tracastro

## **Abstract**

---

Companies have been using Wind fences technology to protect the environment, as they reduce the dust originated from materials stacks. Depending on the atmosphere to which those structures are exposed, the corrosion could be extremely severe and hot-dip galvanizing is a well-known efficient corrosion protection method to address this problem. This paper investigates the galvanized towers performance against painted towers of Votorantim Cement's Wind Fences located in Imbituba Port (SC) in its coke terminal. Two aspects are analyzed: visual appearance and the zinc coating thickness for the galvanized tower. The results show the hot- dip galvanized towers outperformed the painted ones.

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

## **Introdução**

Cada vez mais as indústrias estão investindo em desenvolvimentos sustentáveis e optando por soluções que tenham uma proteção ambiental. Com base nisso, muitas empresas em vários lugares do mundo têm utilizado barreiras de ventos, também conhecidas como Wind Fences, que servem como barreira para controlar a incidência de vento em pátios de estocagem.

As Wind Fences são estruturas de torres metálicas fechadas com malha de polipropileno e seus tamanhos variam de acordo com a aplicação, as maiores, por exemplo, são utilizadas em pátios de estocagem de minério de ferro, carvão e outros tipos. Pesquisas apontam que este equipamento pode reduzir em até 90% a emissão de pó [1].

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 metros 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 10 torres de estrutura metálica, fechadas com uma tela de material especial para este tipo de fechamento.

Apesar do projeto original ser composto de 10 torres metálicas pintadas, a complexidade e a alta corrosividade no local de instalação apontaram a necessidade de ter um sistema de proteção anticorrosiva eficaz para garantir a integridade das estruturas metálicas a longo prazo.

Nesse sentido, a galvanização por imersão a quente foi considerada uma opção muito eficaz para proteger as estruturas de aço devido à sua simples execução e por ser comumente utilizada em todo o mundo em vários projetos de Wind Fence. Um bom exemplo é a Winde Fence de pilha de carvão de Comanche instalada em 2013 e localizada em Pueblo, Colorado nos Estados Unidos ilustrada na Figura 1. A cerca é composta por 10, 8 e 6 colunas de tubos de aço galvanizados por imersão a quente construídas para suportar uma malha de tecido durável para capturar as partículas de poeira e está localizada em um ambiente industrial.

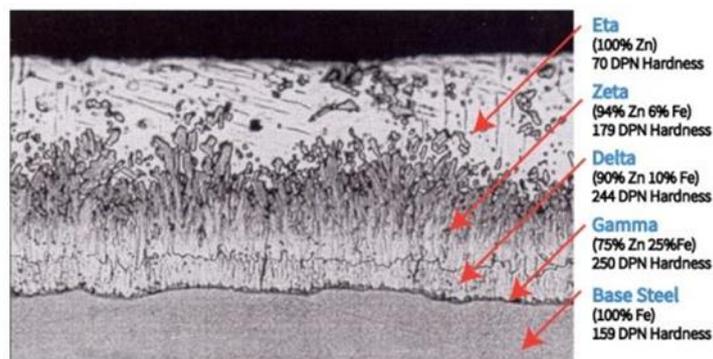
Este ambiente é severo para o aço assim como o ambiente marinho e por isso, uma das maiores preocupações para este projeto era o controle da corrosão, uma vez que a pilha de carvão estivesse instalada, a manutenção seria muito difícil devido ao clima e ao ambiente industrial. Além disso, os cálculos do custo do ciclo de vida mostraram que a galvanização era a escolha mais econômica quando comparada a qualquer outro tipo de sistema de proteção anticorrosiva [2].



**Figura 1 –Wind Fence de pilha de carvão de Comanche localizada em Pueblo, Colorado - EUA [2]**

A 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. O processo é dividido em três etapas básicas: preparação e limpeza da superfície, galvanização e inspeção. Enquanto imerso na cuba, o aço reage com o zinco formando as camadas de ligas ferro-zinco ligadas metalurgicamente e uma camada externa de zinco puro, produzindo uma coloração brilhante, acinzentada ou prateada, bastante característica [3,4].

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. A fotomicrografia da figura 2 mostra a dureza de cada uma das camadas [5].



**Figura 2 – Camadas metalúrgicas compostas por diferentes ligas ferro-zinco [5]**

No revestimento galvanizado, o aço é protegido contra a corrosão por dois mecanismos: proteção de barreira pela camada de revestimento e proteção catódica (camada Zn-Fe). O zinco, que é mais eletronegativo que o aço, é consumido preferencialmente em relação ao ferro e, portanto, o protege. Esta "proteção sacrificial" é uma das principais virtudes de um revestimento galvanizado por imersão a quente em relação à proteção proporcionada pelos revestimentos de pintura, pois mesmo que haja pequenas áreas de danos ao revestimento, ele ainda pode proteger o aço na fenda contra ferrugem e evitar que a ferrugem se infiltre por baixo do revestimento.

Além disso, um revestimento de zinco por imersão a quente é capaz de proporcionar uma proteção mais permanente do que o revestimento de tinta, pois os produtos de corrosão de 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 [3].

Em termos de propriedades mecânicas, com uma dureza de revestimento maior que apenas o aço, o aço galvanizado proporciona um revestimento durável e resistente a riscos que mantém a integridade de todo o sistema de proteção contra corrosão. Enquanto a pintura geralmente não é resistente a arranhões, rachaduras ou impactos, resultando em um revestimento mais suscetível a danos na superfície, em que a corrosão começa e a pintura de manutenção é necessária.

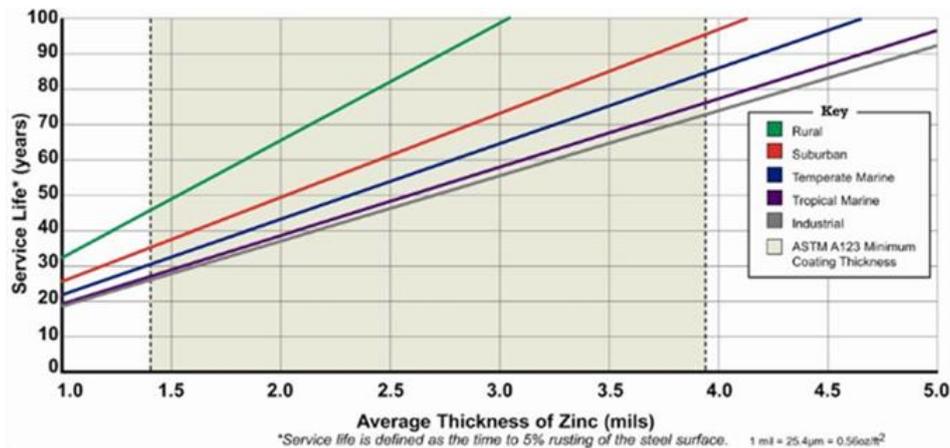
Com base nisso, um revestimento de zinco produzido pelo processo de imersão a quente protege a superfície do ferro ou aço muito mais efetivamente do que o revestimento de tinta ou plástico. Assim, um revestimento galvanizado é muito mais resistente a danos físicos do que o revestimento de tinta e as áreas pouco acessíveis são totalmente revestidas [6].

Sobre a vida útil de um revestimento de zinco depende da espessura do revestimento e das condições de exposição. 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>
<b>C1 – Muito Baixa</b> (interior: seco)	$\leq 0.1$	$\leq 1.3$
<b>C2 – Baixa</b> (interior: condensação ocasional/ exterior environment: rural)	$> 0.1 - 0.7$	$> 1.3 - 25$
<b>C3 – Média</b> (interior: alta umidade, pouca poluição no ar / exterior: interior urbano ou costa urbana)	$> 0.7 - 2.1$	$> 25 - 50$
<b>C4 – Alta</b> (interior: piscinas, plantas químicas / exterior: áreas industriais e áreas costeiras com salinidade moderada)	$> 2.1 - 4.2$	$> 50 - 80$
<b>C5 – Muito Alta</b> (exterior: industrial com alta umidade ou alta salinidade costal)	$> 4.2 - 8.4$	$> 80 - 200$

A expectativa de vida útil de um revestimento galvanizado por imersão a quente é aproximadamente proporcional à espessura do revestimento e a resistência à corrosão atmosférica do aço galvanizado por imersão a quente depende de fatores climáticos como umidade, chuvas, proximidade da costa e presença de poluentes. O gráfico a seguir ilustrado na Figura 3 mostra as previsões de vida útil dos revestimentos galvanizados por imersão a quente em vários ambientes e pode ser usado para projetar a vida útil esperada do produto galvanizado [7].



**Figure 3 - A expectativa de vida útil versus a média da espessura do revestimento de zinco em diversos ambientes. [7]**

Analisando o ambiente onde a Winde Fence deste estudo foi instalada, a região de Imbituba é caracterizada por alta salinidade e umidade costeira, conseqüentemente, o local é classificado como C5 - Muito Alta.

Portanto, como o zinco tem uma taxa de corrosão cerca de 10 vezes inferior à do aço carbono nesta categoria ambiental, o revestimento galvanizado protege o aço por longos períodos de tempo e, conseqüentemente, é considerado um sistema de proteção anticorrosiva muito bom para esta aplicação.

Embora a galvanização à fogo seja uma boa solução de custo-benefício para o projeto da Votorantim Cimentos, foi decidido ter apenas duas torres metálicas galvanizadas e o restante das torres pintadas, a fim de comparar o desempenho destes métodos de proteção anticorrosiva.

Este estudo comparativo foi realizado por medidas de espessura da camada de zinco e avaliação visual, em que os resultados indicam que as torres galvanizadas têm melhor desempenho comparado as torres pintadas e nenhuma manutenção foi necessária até o último período analisado.

## Metodologia

Inicialmente, a Torre 9 e a Torre 10 foram submetidas ao processo de galvanização a quente, de acordo com a Norma NBR 6323. Depois disso, a espessura média da camada de zinco para ambas as torres galvanizadas foi calculada por meio de um revestimento de massa adicional.

Após a instalação completa do Wind Fence, foi planejada uma sequência de inspeções que consistiu em dois aspectos, a avaliação visual da aparência das torres metálicas e quantitativa por meio da medição da espessura da camada de zinco a cada 20cm de distância em ambos os lados da estrutura das torres (frente e costas para o mar). Importante ressaltar que mesmo com esta definição de distância, foi impossível realizar a leitura no mesmo local.

A medição da espessura da camada de galvanização foi realizada utilizando um dispositivo eletromagnético que mede a distância entre o sensor e o substrato de aço, conforme ilustrado na Figura 4.



**Figura 4 - Dispositivo eletromagnético usado na primeira inspeção.**

## Resultados e Discussão

Para garantir a correta proteção do aço pelo processo de galvanização por imersão a quente, é necessária uma espessura de revestimento específica definida na Norma NBR 6323 - Tabela 2, que mostra a espessura mínima de revestimento necessária de acordo com a espessura do aço que será submetido ao processo de galvanização.

**Tabela 2 – Espessura mínima de revestimento necessária de acordo com a espessura do aço conforme NBR 6323**

Material	Massa mínima por unidade de área		Espessura de revestimento mínima equivalente	
	area (g/m <sup>2</sup> )		(µm)	
	Amostra Individual	Média das Amostras	Amostra Individual	Média das Amostras
<b>Fundido</b>				
Espessura (e):	450	4500	63	70
<b>Conformado mecanicamente</b>				
Espessura (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
<b>Roscado</b>				
Espessura (e):				
9,5 mm	305	380	43	53
< 9,5 mm	260	305	37	42

As médias de espessura do revestimento de zinco calculadas para ambas as torres galvanizadas apresentadas na Tabela 3 são espessuras típicas encontradas após a galvanização a quente de grandes estruturas através de processos de batelada e atendem à Norma NBR 6323.

**Tabela 3 – As médias de espessura do revestimento de zinco**

Torre	Espessura de revestimento em 2013
Torre 9	389 µm
Torre 10	373 µm

A primeira inspeção foi realizada em abril de 2014 (1 ano após a instalação) e a segunda foi feita em novembro de 2019 (6 anos após a instalação). Em termos de avaliação visual da aparência, não foi notada nenhuma evidência de corrosão nas torres galvanizadas em ambas as inspeções. Entretanto, as torres pintadas apresentaram alguns pontos de corrosão em 2014, onde a tinta já havia começado a descascar e,

na segunda inspeção, essas torres apresentaram uma progressão de ferrugem vermelha. Como esperado, a tinta é apenas uma barreira protetora, e quando ocorrem arranhões e rachaduras, a corrosão do aço subjacente é imediata [6]. As Figuras 5 e 6 mostram respectivamente a inspeção visual em 2014 e 2019.



**Figura 5 - Inspeção Visual em 2014: (a) Torre Galvanizada e (b) Torre pintada.**



**Figura 6 - Inspeção Visual em 2019: (a) Torre Galvanizada e (b) Torre pintada.**

Os resultados médios das medições de espessura de camadas apresentados na Tabela 4 confirmaram o desempenho da avaliação visual das torres galvanizadas.

**Tabela 4 – As médias de espessura do revestimento de zinco**

<b>Torre</b>	<b>Espessura do revestimento em 2014</b>	<b>Espessura do revestimento em 2019</b>
Torre 9	243 $\mu\text{m}$	270 $\mu\text{m}$
Torre 10	202 $\mu\text{m}$	236 $\mu\text{m}$

Os resultados apresentados demonstram que não houve perda de massa de zinco entre as inspeções. Além disso, as medidas de espessura do revestimento em 2019 são maiores que as medidas de espessura do revestimento da inspeção anterior na mesma torre. A explicação disso é que a espessura do revestimento galvanizado a quente pode variar ao longo do comprimento das torres, e como mencionado na metodologia, é impossível realizar a leitura no mesmo local.

Portanto, pode-se notar que desde a instalação da Wind Fence, o revestimento de zinco não foi afetado e está continuamente oferecendo barreira e proteção catódica ao aço contra a deterioração por corrosão, proporcionando um custo de ciclo de vida e impacto ambiental mais baixo do que a pintura neste ambiente.

### **Conclusões**

Os resultados da inspeção mostram que a galvanização a quente por imersão é uma solução adequada e ecológica para evitar a corrosão das aplicações de Wind Fences em um ambiente extremamente corrosivo, em que as torres galvanizadas tiveram um melhor desempenho em comparação com as torres pintadas. Embora o zinco reaja ligeiramente em contato com o ar ou água, a película que se forma na superfície é compacta e amplamente protetora, reduzindo a corrosão do zinco e proporcionando uma proteção mais permanente do que o revestimento com tinta. Os depoimentos dos engenheiros da Votorantim Cimentos informaram que nenhuma manutenção nas estruturas das torres foi realizada até o momento, apenas em cabos de aço, soldas em suportes de cabos e telas. Entretanto, como as torres pintadas têm vários pontos de corrosão, elas deverão ser reparadas em breve.

### **Referências Bibliográficas**

1. D. Liu and B. Liptak. "Environmental Engineers' Handbook", in: 5.25 Fugitive Dust, CRC Press (1999).
2. "Comanche's Coal Pile Wind Fence", American Galvanizers Association (2014). Retrieved

from: <https://galvanizeit.org/project-gallery/comanches-coal-pile-wind-fence>

3. "General Galvanizing Practice", in: Part 1 General introduction to hot dip galvanizing, Galvanizers Association, West Midlands, UK (1999) p.1.1.

4. "What is Hot-Dip Galvanizing?", American Galvanizers Association. Retrieved from: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanized-steel-for-parking-structures/hot-dip-galvanizing>

5. "Durability", American Galvanizers Association. Retrieved from: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/why-specify-galvanizing/durability>

6. "Hot-Dip Galvanized Steel vs. Paint?", American Galvanizers Association. Retrieved from:

[https://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanized\\_Steel\\_vs\\_Paint.pdf](https://galvanizeit.org/uploads/publications/Galvanized_Steel_vs_Paint.pdf)

7. Langill, Tom. "Lifetime vs. Coating Thickness". American Galvanizers Association, 1998.