

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

## **Estudo comparativo de custos para estruturas de concreto armado usando vergalhão comum ou de aço galvanizado**

Luiza Abdala<sup>a</sup>, Daniele Albagli<sup>b</sup>, Lucy Inês Oliven<sup>c</sup>, Luércio Scandiuzzi<sup>d</sup>

### ***Abstract***

This paper presents a comparative study of costs of sanitation works using common and galvanized rebars for concrete reinforcement, particularly in drinking water reservoirs. Based on civil inspection data of 243 concrete reinforced drinking water reservoirs, it was possible to make a study comparing the costs of traditional repairs with those using galvanized steel. This study had considered both bigger initial cost and bigger durability with the use of the galvanized steel. The hot dip galvanizing is one of the many corrosion protection methods used to improve the general durability of reinforced concrete. The results obtained indicated a cost reduction of about 30% to 40%, considering the investment tax return at about 5%. The values are significant and they are almost independent from the concrete slab area. The study was extended to new reservoirs construction. In this case, the costs to construct new reservoirs in common and galvanized rebar were estimated and the durability and opportunity cost were also considered in the calculation. When considering the minimal durability of 30 years and the return tax of 5% (pessimistic scenario) the cost reduction on using galvanized rebar was around 40%.

**Keywords:** galvanized rebar, drinking water reservoir, concrete reinforcement.

### **Resumo**

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo comparativo de custos de obras de saneamento, em particular, reservatórios de água potável em concreto armado, com o uso de vergalhão de aço sem revestimento e aço galvanizado. Com base em dados de inspeções civis em 243 estruturas de concreto armado de reservatórios de água potável foi realizado um estudo comparando os custos de reparos tradicionais com reparos usando aço galvanizado. Este estudo levou em conta o custo inicial maior com o aço galvanizado e a durabilidade também maior com o uso de aço galvanizado. A galvanização a fogo é uma das diversas medidas de proteção contra a corrosão usada para melhorar a durabilidade geral do concreto armado. A resposta obtida foi que há uma redução de custo da ordem de 30% a 40% para taxa de retorno de investimento de 5%, os valores são significativos e praticamente independem da área da laje de cobertura. O estudo foi ampliado para as obras novas. Para tal, foi avaliado o custo para construção de novos reservatórios em concreto armado usando aço normal e

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

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

<sup>c</sup> MSC, Engenheira Civil – TECHCONSULT ENGENHEIROS ASSOCIADOS

<sup>d</sup> Engenheiro Civil – TECHCONSULT ENGENHEIROS ASSOCIADOS

<sup>e</sup> Engenheiro Civil - SABESP

galvanizado, levando em conta o custo inicial, a durabilidade e o custo de oportunidade. Considerando a durabilidade mínima de 30 anos e a taxa de retorno de 5% (cenário pessimista) a redução de custos no uso de aço galvanizado foi de cerca de 40%.

**Palavras-chave:** vergalhão galvanizado, saneamento, concreto armado.

## Introdução

O estudo foi iniciado com a inspeção de 243 estruturas de concreto armado em reservatórios de água potável no Estado de São Paulo. A análise das patologias encontradas sinalizou que 45% das anomalias encontradas nos reservatórios são armaduras corroídas, sendo que 63% destas estão na face interna das lajes de cobertura. 89% dessas anomalias são causadas por deficiências no recobrimento de concreto das armaduras e agravadas pela ação de íons cloretos. A figura 1 mostra o aspecto típico da corrosão de armadura na face inferior da laje de cobertura de reservatórios.



**Figura 1 – Fotos típicas de regiões com corrosão de armaduras**

Uma alternativa para aumentar a proteção nas armaduras e, conseqüentemente, a vida útil das estruturas de concreto armado é a galvanização por imersão a quente do vergalhão. A galvanização consiste na imersão da peça de aço em um banho de zinco fundido, a 450 °C, que garante ao aço a proteção contra a corrosão tanto por barreira, com a formação de uma camada de zinco na superfície da peça, quanto catódica, com a difusão do zinco na rede cristalina da peça, e formação de camadas intermetálicas ferro-zinco, além da camada de zinco puro, que sofrem corrosão preferencial ao aço. Além disso, o zinco possui uma taxa de corrosão de 3 a 5 vezes mais lenta do que a taxa de corrosão do aço, conferindo aumento na durabilidade do aço.

A galvanização por imersão a quente não altera as propriedades mecânicas do vergalhão de aço, podendo ser aplicada nas mesmas situações que o vergalho de aço sem revestimento, conforme ensaios realizados no laboratório Falcão Bauer (relatórios nº MET/L-236.758/1/13/COMPLEMENTAR e MET/L-236.758/2/13/COMPLEMENTAR). Com a galvanização das armaduras, mesmo com deficiências ou trincas no recobrimento de concreto, a armadura fica protegida. A galvanização das armaduras tem um custo inicial adicional na construção ou reparo de um reservatório. Este artigo dá continuidade a um trabalho apresentado no Intercorr de 2012 (5), no qual foi apresentada a diferença de custos na

---

recuperação de reservatórios com aço sem revestimento e com aço galvanizado. Na segunda etapa do estudo, foram comparados os custos entre o uso do vergalhão sem e com galvanização para a construção de novos reservatórios, considerando a redução nos custos de manutenção ao longo da vida útil da estrutura, com a maior durabilidade do aço galvanizado. Estima-se que, enquanto uma armadura de aço sem revestimento demanda manutenção a partir do 10º ano, uma estrutura galvanizada, no cenário mais pessimista, demanda manutenção somente a partir do 30º ano.

## **Metodologia**

---

Foram realizadas inspeções visuais em 243 estruturas de concreto para identificação de problemas patológicos, avaliando a criticidade da deterioração a fim de priorizar a manutenção das estruturas com mais severas patologias. Para cada reservatório inspecionado, foram identificadas as causas e intensidades das anomalias. O resultado das informações coletadas mostrou que a anomalia mais frequente foi a corrosão das armaduras em lajes de cobertura, e que a maior parte dessas anomalias era devido a falhas no recobrimento de concreto.

A galvanização é um método de proteção contra a corrosão que protege o aço em casos de exposição a ambientes agressivos. Objetivando dar suporte técnico ao uso da galvanização a quente na proteção das armaduras usadas no concreto armado, foi elaborado um plano de ensaios que teve como objetivo verificar se há alguma alteração nas propriedades mecânicas dos vergalhões galvanizados comparativamente aos vergalhões comuns não galvanizados. As especificações técnicas devem atender a ABNT- NBR 7480:2007: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Esta norma, no item 1, escopo, estabelece os requisitos exigidos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinados a armaduras para estruturas de concreto armado, com e sem revestimento superficial. Os métodos utilizados para os ensaios foram:

- ABNT NBR 6153: Ensaio de dobramento semi-guiado;
- ABNT NBR 7477: Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado;
- ABNT NBR 7398: Produto de aço ou ferro fundido galvanizado por imersão a quente – verificação da aderência do revestimento – método de ensaio;
- ABNT NBR 7399: Produto de aço ou ferro fundido galvanizado por imersão a quente – Verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo – método de ensaio;
- ABNT NBR 7400: Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente – Verificação da uniformidade do revestimento – Método de ensaio;
- NBR ISO 6892:2013: Materiais metálicos – ensaio de tração – parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente;
- ABNT NBR 8094: corrosão por exposição à névoa salina- câmara de salt spray;

Os ensaios são comparativos, portanto, o número de amostras e os tipos de ensaios foram iguais e realizados com vergalhões com e sem revestimento de zinco, para as bitolas de 10 mm e 25 mm.

Tendo confirmado, com o resultado dos ensaios, que o vergalhão quando galvanizado não tem suas propriedades mecânicas alteradas, foram listadas as etapas de construção de novos

reservatórios e avaliado quais etapas eram comuns tanto para o uso do vergalhão de aço comum quanto para o uso de vergalhão galvanizado, e quais etapas poderiam ser dispensadas.

Como a vida útil da estrutura é superior quando se galvaniza as armaduras, a frequência das manutenções é diminuída e, para se calcular a real diferença de custos totais (custos iniciais somados aos custos de manutenção) entre os 2 processos (com galvanização e sem galvanização), se torna necessário utilizar o conceito de “Valor Presente Líquido” para comparação na mesma base. A análise foi concluída a partir da constatação da viabilidade técnica e econômica do uso do aço galvanizado em estruturas de concreto armado, considerando a vida útil aumentada e a diminuição das manutenções requeridas.

### Revisão Bibliográfica

#### Diferença de custos na utilização do vergalhão galvanizado na recuperação de reservatórios de água potável

O estudo da diferença de custos na utilização do vergalhão galvanizado em obras de reparos de lajes de cobertura em reservatórios de água potável foi apresentado no Intercorr 2012(5) e mostrou que considerando o investimento inicial e os custos das manutenções necessárias ao longo de 30, 40 e 50 anos dos reparos de armaduras corroídas feitos em aço, com e sem revestimento de zinco, há uma redução no custo total do reparo quando utilizado o aço galvanizado. Enquanto o aço sem revestimento demanda manutenção, em média, já no 10º ano após a obra concluída, o aço galvanizado pode durar de 30 a 50 anos. Os cálculos consideraram 3 cenários de vida útil para o aço galvanizado: 30, 40 e 50 anos e em todos os casos se observa redução no custo total de reparo. Foram tamanhos diferentes de reservatórios e uma taxa de retorno de investimento de 5% e os resultados encontrados estão descritos na tabela 1.

**Tabela 1 – Redução de custos na utilização de vergalhões galvanizados no reparo de lajes de cobertura de reservatórios de água potável, de acordo com a sua vida útil estimada(5)**

| Durabilidade<br>estimada | Redução de custo total em relação à utilização do aço sem revestimento |                    |
|--------------------------|--|--------------------|
|                          | Área da laje de cobertura do reservatório                              |                    |
|                          | 28 m <sup>2</sup>  | 850 m <sup>2</sup> |
| 30 anos                  | 26,8%  | 25,9%              |
| 40 anos                  | 33,6%  | 34,4%              |
| 50 anos                  | 39,6%  | 40%                |

Esta redução de custos considera que, com a utilização de barras de aço galvanizado, uma etapa de recuperação do reservatório poderia ser dispensada, que é a utilização de impermeabilizantes de concreto no final da obra para proteger a estrutura de concreto armado contra a corrosão.

## Resultados e discussão

### Diferença de custos na utilização do vergalhão galvanizado na construção de reservatórios de água potável

O estudo, que inicialmente estimava os custos somente para obras de reparo, foi estendido para avaliar a diferença nos custos totais para construção de novas obras de reservatórios de água potável. Com base em levantamento de custos para construção de reservatórios semienterrados em concreto armado da Sabesp, aferido pelo setor de custos, chegou-se às participações do custo do vergalhão e do custo do impermeabilizante no custo total de uma construção de reservatório, descritas na tabela 2.

**Tabela 2 – Participação dos custos do vergalhão de aço e do impermeabilizante de concreto no custo total de uma obra de construção de reservatório de água potável**

| Capacidade<br>(m <sup>3</sup> ) | Custo total da obra<br>(R\$) | Participação no custo total da obra (%) |  |
|---------------------------------|------------------------------|---|--|
|                                 |                              | Armação em aço CA 50                    | Impermeabilização cimento<br>cristalizante base acrílica |
| 100                             | 100.611,13                   | 12,0                                    | 5,0  |
| 1.000                           | 436.128,09                   | 16,6                                    | 6,0  |
| 2.000                           | 723.561,43                   | 20,0                                    | 6,6  |

Foram utilizados alguns dados fornecidos por projetista do setor de saneamento, para aferir os custos comparativos: para reservatório semienterrado em concreto armado para capacidade de 10.000 m<sup>3</sup>, o custo total da obra é de, aproximadamente R\$ 3.160.000,00, sendo 22% referentes ao custo de aço CA 50. Em um reservatório, cerca de 85% do aço total é utilizado nas vigas suporte e laje de cobertura. O custo da impermeabilização superficial do concreto é da ordem de 7% do custo total, neste caso.

Com base nos custos levantados, já descritos, foram calculados os custos de construção dos reservatórios usando aço galvanizado em todos os elementos estruturais do reservatório e apenas na laje de cobertura e vigas, uma vez que é o ponto crítico destas estruturas submetidas à ação do gás cloro. O custo do aço galvanizado foi estimado como sendo 40% superior ao custo do aço sem revestimento. O acréscimo no custo da obra com a utilização do vergalhão galvanizado em toda a estrutura, ou somente na laje de cobertura, sem dispensar o uso de impermeabilizantes, está descrito na tabela 3.

**Tabela 3 – Acréscimo de custos em obras de construção de reservatórios com a utilização do vergalhão de aço galvanizado em toda estrutura, ou somente na laje de cobertura**

| Capacidade<br>(m <sup>3</sup> ) | Custo (R\$)             |                 |                   |                 | Acréscimo no custo total da obra (%) |  |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|--|
|                                 | Aço sem<br>revestimento | Aço galvanizado |                   | Aço galvanizado |                                      |  |
|                                 |                         | Toda estrutura  | Laje de cobertura | Toda estrutura  | Laje de cobertura                    |  |
| 100                             | 12.075,05               | 16.905,96       | 14.345,15         | 4,8             | 2,2                                  |  |

|        |            |            |            |     |     |
|--------|------------|------------|------------|-----|-----|
| 1.000  | 72.450,03  | 101.430,04 | 86.070,62  | 6,6 | 3,1 |
| 2.000  | 144.899,69 | 202.859,56 | 172.140,82 | 8   | 3,7 |
| 10.000 | 695.000,00 | 973.280,00 | 825.721,00 | 8,8 | 4,1 |

Verifica-se que o acréscimo de custo usando aço galvanizado em toda estrutura do reservatório varia de 4,8% a 8,8%, função da capacidade do reservatório. É essencial que a estrutura da cobertura (vigas de apoio e laje de cobertura) seja executada com aço galvanizado, pois a durabilidade desta estrutura é muito afetada pela presença de gás cloro, corroendo a armadura rapidamente e afetando toda a operação do reservatório, conforme demonstrado nos levantamentos de anomalias realizados para a Sabesp. A substituição de vergalhão protegido (galvanizado) na estrutura de cobertura implica em um aumento de custo de 2,2% a 4,1%, função da capacidade do mesmo.

Tendo em vista que a impermeabilização com cimento cristalizante a base acrílica tem como função preservar o concreto para que seu pH não se modifique com a carbonatação, e consequentemente preserve a armadura de aço comum, esta etapa do processo pode ser dispensada, uma vez que o zinco tolera melhor o pH na faixa de 6 a 13. O custo desta impermeabilização pode, portanto, ser deduzido quando se usa aço galvanizado. A diferença de custo total fica assim muito reduzida.

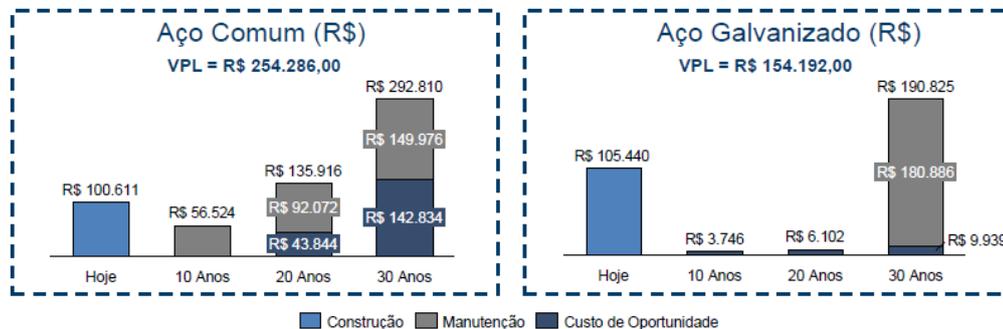
**Tabela 4 – Acréscimo de custos em obras de construção de reservatórios com a utilização do vergalhão de aço galvanizado em toda estrutura, ou somente na laje de cobertura, sem impermeabilizante**

| Capacidade<br>(m <sup>3</sup> ) | Custo (R\$)             |                 |                   |                 | Acréscimo no custo total da obra (%) |  |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|--|
|                                 | Aço sem<br>revestimento | Aço galvanizado |                   | Aço galvanizado |                                      |  |
|                                 |                         | Toda estrutura  | Laje de cobertura | Toda estrutura  | Laje de cobertura                    |  |
| 100                             | 12.075,05               | 16.905,96       | 14.345,15         | - 0,13%         | 0,7%                                 |  |
| 1.000                           | 72.450,03               | 101.430,04      | 86.070,62         | 0,6%            | 2,0%                                 |  |
| 2.000                           | 144.899,69              | 202.859,56      | 172.140,82        | 1,4%            | 1,7%                                 |  |
| 10.000                          | 695.000,00              | 973.280,00      | 825.721,00        | 2,8%            | 2,0%                                 |  |

Nota-se que, nos casos de substituição total por aço galvanizado, a diferença de custo total fica na faixa de 0 a 2,8%, função da capacidade do reservatório. Considerando a substituição do aço sem revestimento pelo aço galvanizado somente na estrutura de cobertura, o aumento de custo não passa de 2,0%, para o maior reservatório analisado, quando não se impermeabiliza a superfície de concreto da laje e vigas de cobertura.

Quando se adiciona a esta análise a redução nos custos de manutenção, decorrentes da utilização do sistema de galvanização como proteção contra a corrosão do aço, é evidenciado que, ao longo prazo, utilizar aço galvanizado provoca redução no custo total ao longo da vida útil da estrutura. Com base nos custos levantados, foi considerada, para o aço sem revestimento, uma durabilidade de 10 anos, ou seja, a cada 10 anos é necessária uma manutenção. Também foram considerados os custos de oportunidade pelo investimento inicial mais alto e pelas manutenções não realizadas ao longo da vida útil do aço galvanizado. Adotou-se 30 anos como vida útil mínima para o aço galvanizado sem necessidade de

manutenção e uma taxa de 5% de retorno para o custo de oportunidade. Os resultados obtidos foram comparados através do conceito de “VPL” – Valor presente líquido e estão apresentados na figura 2.

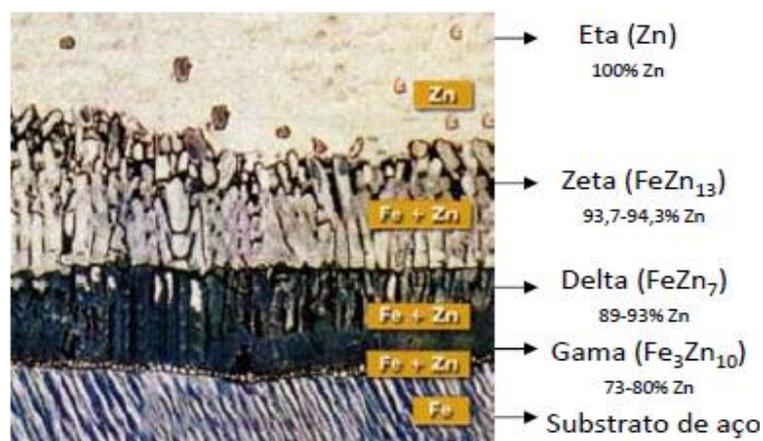


**Figura 2 – Valor presente líquido do custo de manutenção para construção de reservatórios com vergalhão de aço sem revestimento e aço galvanizado.**

Usando o vergalhão de aço comum e considerando o custo de oportunidade e manutenção periódica a cada 10 anos, tem-se que o Valor Presente Líquido (VPL) é de R\$ 254.286,00. Usando o vergalhão de aço galvanizado, e considerando o custo de oportunidade e manutenção periódica apenas em 30 anos, tem-se que o Valor Presente Líquido (VPL) é de R\$ 154.192,00. Assim, a opção pela utilização do aço galvanizado representa economia no valor total da vida útil da obra de 39,3% em relação à utilização do aço comum.

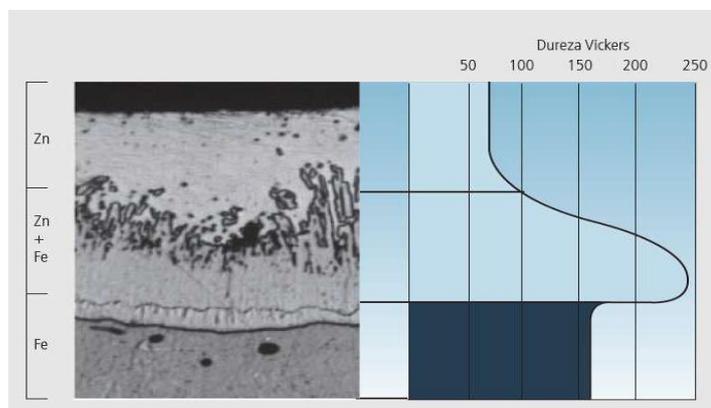
### **Análise comparativa das propriedades mecânicas do vergalhão de aço sem revestimento e de aço galvanizado**

O processo de galvanização consiste na imersão de uma peça de aço em diversos banhos de limpeza do aço e, posteriormente, em um banho de zinco fundido, a 450 °C, o que garante ao aço a proteção contra a corrosão tanto por barreira, com a formação de uma camada de zinco metálico puro na superfície da peça, quanto catódica, com a difusão do zinco na rede cristalina da peça, e consequente formação de camadas intermetálicas ferro-zinco, além da camada de zinco puro.



**Figura 3 – Camadas ferro-zinco e zinco puro formadas no processo de galvanização.**

A ligação metalúrgica garante a forte aderência do revestimento do zinco no substrato de aço, o qual é muito superior se comparada a outras formas de revestimento, como, por exemplo, o epóxi aplicado por fusão. Além disso, a camada ferro-zinco do revestimento apresenta uma dureza maior que o aço em si conferindo ao aço galvanizado uma elevada resistência a abrasão.



**Figura 4 – Microseção do aço galvanizado, mostrando as variações de dureza através do revestimento.**

Para evidenciar que a galvanização não altera as propriedades mecânicas do aço, foram realizados ensaios em laboratório, seguindo as normas ABNT, conforme descrito no item “Metodologia”. Em relação aos ensaios de tração, dobramento e escoamento foram encontrados os resultados descritos na Tabela 5, a seguir.

**Tabela 5 - Resultados encontrados nos testes de tração, dobramento e escoamento para vergalhões de aço comum e galvanizado**

| Parâmetro Determinado       | Especificado* (mínimo) | Resultados Obtidos   |                 |                      |                 |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                             |                        | Bitola 10 mm         | Bitola 10 mm    | Bitola 25 mm         | Bitola 25 mm    |
|                             |                        | Aço sem revestimento | Aço Galvanizado | Aço sem revestimento | Aço Galvanizado |
| Limite de Escoamento (Mpa)  | 500                    | 664                  | 627             | 563                  | 566             |
| Limite de Resistência (Mpa) | 540                    | 846                  | 763             | 713                  | 683             |
| Relação LE/LR               | 1,08                   | 1,27                 | 1,21            | 1,26                 | 1,21            |
| Alongamento após ruptura    | 8                      | 14,1                 | 13,6            | 16,7                 | 16,4            |

\* Valores estabelecidos pela Norma NBR 7480:2007

Os resultados da tabela acima mostram que todos os exemplares atendem às especificações da NBR 7480:2007, quanto ao escoamento, resistência à tração, relação limite de resistência por limite de escoamento (LR/LE) e alongamento após a ruptura. Destaca-se nesta série de ensaios o comportamento das barras galvanizadas que, quando submetidas ao ensaio de

dobramento, foi similar ao da barra não galvanizada, sem apresentar fissuras na zona tracionada. Este ensaio mostra a forte aderência entre a camada de zinco e o substrato aço, decorrência da formação das camadas intermetálicas. Este ensaio exige muito do aço e é comum o aparecimento de fissuras.

Em relação a caracterização do revestimento de zinco, as 9 amostras foram ensaiadas para determinar a espessura e uniformidade da camada de zinco, a fim de comprovar a qualidade da galvanização dos vergalhões. Os valores médios obtidos para a espessura da camada de zinco constam na Tabela 6, a seguir.

**Tabela 6 - Resultados encontrados nos testes de espessura da camada zinco para vergalhões de aço galvanizado**

| Parâmetro Determinado                                | Resultados Obtidos |               |                 |               |
|--|--------------------|---------------|-----------------|---------------|
|  | Bitola 10 mm       | Bitola 10 mm  | Bitola 25 mm    | Bitola 25 mm  |
|  | Espessura média    | Desvio padrão | Espessura média | Desvio padrão |
| Espessura do revestimento de zinco ( $\mu\text{m}$ ) | 319                | 45,64         | 254,8           | 36,57         |

As espessuras encontradas atendem à norma internacional ASTM A767: Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.

Quanto à uniformidade, as fotos a seguir mostram o aspecto das barras antes do ensaio e após 06 imersões de 01 minuto cada, em solução de cobre. Nenhuma amostra apresentou depósito de Cobre aderente e brilhante, comprovando a uniformidade do revestimento de zinco, conforme figura 5 e figura 6.



**Figura 5 – Vergalhões galvanizados (bitola 10 mm) antes do ensaio**



**Figura 6 – Vergalhões galvanizados (bitola 10 mm) após 06 ciclos de imersão em solução de Cobre – Não apresentou depósito**

Por fim, foram realizados ensaios de exposição à névoa salina, em câmara de salt spray. Este processo simula a situação de agressividade média em ambientes com altos teores de cloretos, como ambientes marinhos e regiões costeiras. Os ensaios foram comparativos e tiveram a duração total de 28 dias na câmara salina, com medição de perda de massa, após a limpeza

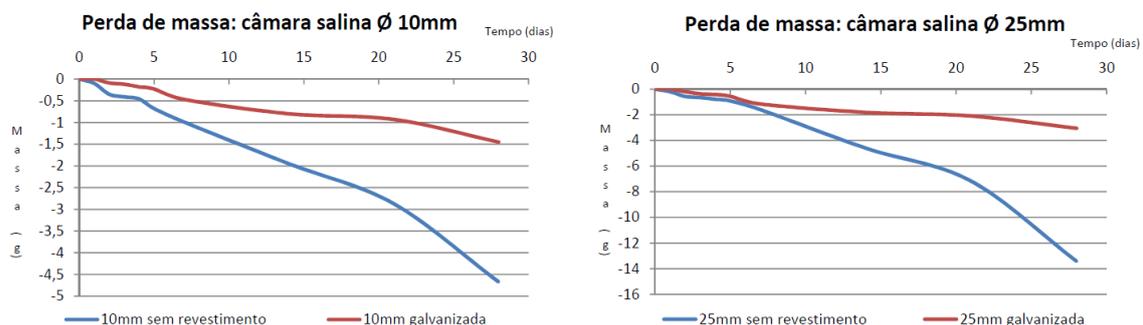
das superfícies das barras, a cada ciclo de 24 horas nos primeiros 07 dias e, em seguida, a cada 07 dias até o 28º dia.

Verificou-se que já com 24 horas de exposição, as barras não galvanizadas já apresentaram corrosão vermelha. As barras galvanizadas, tanto de 10 mm de bitola, quanto de 25 mm, não apresentaram corrosão vermelha até o término do ensaio com 672 horas, ou seja, 28 dias. A corrosão branca indica oxidação no revestimento de zinco e, somente após totalmente corroído o revestimento é que se observa a corrosão vermelha, que indica a oxidação do substrato de aço. O ensaio comprova que a corrosão do aço galvanizado é muito mais lenta em relação à corrosão do aço comum. A figura 6 ilustra as barras ensaiadas após 672 horas de exposição à câmara salina.



**Figura 7 – Barras de aço comum (direita) e galvanizadas (esquerda) após o ensaio de 672 horas de exposição em câmara salina para diâmetros de 10 mm e de 25 mm.**

A figura a seguir apresenta a perda de massa dos vergalhões de aço comum e de aço galvanizado, nas bitolas de 10 mm e 25 mm, ao longo do ensaio durante os 28 dias, ou 672 horas.



**Figura 8 – Perdas de massa durante o ensaio de 672 horas de exposição em câmara salina de vergalhões de aço comum e de aço galvanizado para diâmetros de 10 mm e de 25 mm.**

Nota-se nitidamente maior perda de massa nas barras comuns. Na bitola de 10 mm, a perda de massa do galvanizado foi de 1g, enquanto a perda da barra comum foi de mais de 4,5 g. Para a bitola de 25 mm, a perda de massa da barra galvanizada foi de 2,5g, enquanto a perda de massa para o vergalhão comum foi de mais de 13g. Com isto, nota-se que a taxa de corrosão

---

do zinco foi de 4 a 5 vezes menor que a taxa de corrosão do aço e pode-se estender essa lógica ao conceito de vida útil, ou seja, se um reservatório em aço comum demanda manutenção nas armaduras a partir do 10º ano, o reservatório que utilizar vergalhões galvanizados deverá demandar manutenção somente a partir do 40º ano. Para fins de comparação, foi estimado que o reservatório construído ou recuperado com aço galvanizado demande manutenção, no pior dos casos, a partir do 30º ano.

Assim, comprovou-se, com os resultados obtidos dos ensaios, que os vergalhões galvanizados CA50 usados no concreto armado encontram-se dentro das prescrições normativas brasileiras ABNT NBR 7480:2007 e são similares entre seus pares;

## Conclusões

---

A utilização de aço galvanizado é fortemente indicada para casos em que as estruturas de aço estão expostas a ambientes de grande agressividade e são observadas altas taxas de corrosão, que reduzem significativamente a vida útil da estrutura. No caso dos reservatórios de água potável, existe uma grande concentração de cloretos, que são agentes de corrosão e fazem com que as estruturas de concreto armado necessitem de manutenções constantes. Com a utilização do aço galvanizado, há significativa redução na periodicidade das manutenções, e, também, maior segurança nos reservatórios.

Através dos ensaios realizados no laboratório Falcão Bauer, fica evidente que a galvanização dos vergalhões de aço não altera as suas propriedades mecânicas. O vergalhão revestido com zinco pode ser utilizado nas mesmas aplicações que o vergalhão de aço comum, apresenta desempenho mecânico semelhante e atende todas as normas de ensaios para vergalhões. O único ensaio que apresentou significativa diferença no desempenho dos dois vergalhões – comuns e galvanizados – foi o ensaio de corrosão acelerada em *salt spray*, no qual foi evidenciado que a taxa de corrosão do vergalhão galvanizado foi de 4 a 5 vezes menor que a taxa de corrosão do vergalhão comum de aço e, portanto, contribui fortemente para o aumento de vida útil das estruturas.

Para se avaliar a diferença real de custos na utilização de barras de aço galvanizado em estruturas de concreto armado em reservatórios de água potável de empresas de saneamento básico, em relação à utilização de vergalhões de aço comum, é necessário levar em consideração a extensão da vida útil da estrutura que a galvanização proporciona e não somente o custo inicial. A galvanização dos vergalhões representa uma adição no custo inicial de construção de um novo reservatório ou reparo de um mais antigo. Porém, quando se analisa o aumento da vida útil do reservatório sem manutenção e, mais ainda, quando se leva em consideração o valor presente líquido do custo das manutenções evitadas ao longo dos anos, a galvanização proporciona a uma redução de 39,3% no custo total de um reservatório, desde sua construção, até sua primeira manutenção, considerando que ela ocorra com 30 anos de vida útil da estrutura.

Além da redução nos custos de manutenção apresentados neste trabalho, há também significativa diminuição nos custos indiretos, com o menor número de interrupções no abastecimento de água para a população, decorrentes das manutenções em reservatórios. Assim, o uso de aço galvanizado traz benefícios diretos sociais, financeiros e de qualidade de

vida à população. Ainda, a alta durabilidade e baixa frequência de manutenção remetem ao conceito de sustentabilidade, com a utilização responsável das matérias primas e menor consumo desnecessário de recursos naturais para substituições e reparos.

### **Referências bibliográficas**

---

- (1) SABESP – CIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Plano de Manutenção Civil para Reservatórios Litoral e Interior**. São Paulo, 2009.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 6118/2007: **Projetos de estrutura de concreto armado – procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.
- (3) YEOMANS,S. **Galvanized steel reinforcement in concrete**.USA:Elsevier,2004.293p.
- (4) BEROLINI, L **Materiais de Construção: patologia / reabilitação / prevenção**, Brasil: tradução Leda Maria Dias Beck, 2010.409p
- (5) OLIVAN, L.; Scandiuzzi, L.; Taki, S. O. Aumento da durabilidade das estruturas de concreto usando vergalhão de aço galvanizado. Em: Intercorr, 2012, Salvador.