

VIABILIDADE DO VERGALHÃO GALVANIZADO, A INFLUÊNCIA DA NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA E SUA APLICAÇÃO

RESUMO

Este trabalho apresenta a alternativa do uso de vergalhão galvanizado para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado, inseridas em meios agressivos, a fim de atender as atuais normas de desempenho quanto à vida útil de projeto. Inicialmente, são discutidos os requisitos das normas brasileiras de desempenho e de perícias de engenharia, pois a corrosão de armaduras é um vício oculto que se torna defeito ao longo do tempo, se não for corrigido. A galvanização a quente da armadura é uma solução para retardar a corrosão, inclusive apontada pela norma NBR 6118 (ABNT, 2014), pois o zinco sofre corrosão a taxas entre 10-30 vezes inferiores ao aço, dissolve-se gradualmente e forma produtos de corrosão, que são menos volumosos que os óxidos de ferro equivalentes. Os ensaios realizados evidenciaram que a galvanização dos vergalhões de aço não altera as suas propriedades mecânicas e os ensaios acelerados mostraram aumento significativo de durabilidade. O estudo econômico feito levou em conta o custo inicial maior com o aço galvanizado e a durabilidade também maior com o uso de aço galvanizado para obras que necessitam de recuperação e para obras novas. A resposta obtida foi que há uma redução de custo significativa.

Palavras chave: Vergalhão galvanizado, Corrosão de armadura, Concreto armado, Norma de Desempenho, Ensaios acelerados de corrosão.

INTRODUÇÃO

O uso de zinco para proteção de peças metálicas é conhecido e difundido em níveis nacional e internacional, porém, em estruturas de concreto armado, o uso de armaduras ou vergalhões galvanizados a quente é incipiente no Brasil e vem ao encontro dos novos conceitos da normalização brasileira, quanto à durabilidade e vida útil dos sistemas construtivos.

O uso de armaduras ou vergalhões galvanizados em estruturas de concreto armado, visa combater a corrosão das armaduras e aumenta significativamente a vida útil das estruturas de concreto armado, principalmente quando as mesmas estão em contato com meio agressivo.

Este trabalho analisa o impacto das normas brasileiras atuais de desempenho e de manutenção para alavancar a implantação do uso de armaduras galvanizadas em obras brasileiras, principalmente nas inseridas em ambientes agressivos.

Para verificar as características técnicas das armaduras galvanizadas e a influência da película de proteção de zinco, foram realizados ensaios comparativos de armaduras com e sem revestimento de zinco por galvanização a quente, cuja análise dos resultados está apresentada neste trabalho.

Discute o aumento de custo inicial da galvanização do aço frente ao aumento de durabilidade e conseqüente decréscimo de custo de manutenção ao longo da

vida útil especificada para o concreto armado, segundo a Norma Brasileira NBR-15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT,2013).

A abordagem da pesquisa foi continuada com o estudo do custo total de estruturas em concreto armado de reservatórios de água potável, até o final de vida útil, em dois cenários:

- *recuperação* da estrutura usando armadura galvanizada;
- *construção* com armadura galvanizada.

Este estudo econômico usou o conceito da matemática financeira por meio do cálculo do valor presente líquido. Foi feita a comparação do custo médio das obras, com o uso de aço comum (sem revestimento) e o uso de aço galvanizado, levando em conta a manutenção ao longo da vida útil mínima da estrutura, que no caso atual para concreto armado é de 50 anos (mínimo), de 63 anos (intermediário) e 75 anos (superior) (ABNT NBR 15575).

Muitos estudos de durabilidade do concreto estão sendo elaborados no sentido de minimizar as principais causas de deterioração e, dentre elas, a corrosão das armaduras.

EXPOSIÇÃO

1 Considerações normativas

Entende-se vergalhão como uma barra de aço com superfície nervurada, obtida por laminação a quente de tarugos de lingotamento contínuo e utilizado em armaduras para concreto armado, que atende as especificações da NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — Especificação (ABNT,2007).

Todo problema patológico, chamado em linguagem jurídica de vício ou defeito de construção, ocorre por meio de um mecanismo. A NBR 13752 - Perícias de Engenharia na Construção Civil (ABNT, 1996) define vícios como anomalias que afetam o desempenho de produtos ou serviços, ou os tornam inadequados aos fins a que se destinam, causando transtornos ou prejuízos materiais ao consumidor. Podem decorrer de falhas de projeto, ou da execução, ou ainda da informação defeituosa sobre a utilização ou manutenção.

A definição de defeitos, segundo a mesma norma brasileira, são anomalias que podem causar danos efetivos ou representar ameaça potencial de dano à saúde ou segurança do consumidor, decorrentes de falhas do projeto ou execução de um projeto ou serviço, ou ainda, da informação incorreta ou inadequada de sua utilização ou manutenção.

De acordo com o CDC-Código de Defesa do Consumidor, os vícios nos produtos podem ser de duas ordens: aparentes, o que corresponde àqueles que se manifestam tão logo o consumidor inicia a utilização, ou ainda, ocultos, que podem vir a manifestar-se com a utilização extraordinária do produto, às vezes, inclusive, após alguns anos de uso. O CDC concebeu sistemas distintos para o vício e para o defeito, centrando a distinção entre ambos nas suas conseqüências, mais graves ou menos graves, que acarreta ao consumidor.

Para o CC - Código Civil as expressões vícios e defeitos são equivalentes, vigora a responsabilidade subjetiva pura (baseada na culpa do fornecedor), não prevê a solidariedade entre os fornecedores componentes da cadeia de produção e comercialização, não prevê responsabilização pelos vícios aparentes ou de fácil constatação, abrangendo apenas os ocultos, e ainda, a responsabilização pelos vícios, só é permitida se esta tiver relação contratual (Queiroz, 2000).

Essas definições são importantes para a caracterização da anomalia que se está estudando sob o ponto de vista da Perícia de Engenharia.

Uma questão importante a ser discutida para a anomalia corrosão de armadura é o prazo decadencial, que é a perda de direito em si para pleitear na justiça a reparação do dano, visto se tratar de anomalia de progressão lenta e de difícil detecção, mas com consequências graves e custosas. O artigo 26 do parágrafo 3 do Código de Defesa do Consumidor (CDC) (BRASIL, 2010) diz que “Tratando-se de vício oculto, o prazo decadencial inicia-se no momento que ficar evidenciado o defeito”.

Entende-se por vida útil (VU), segundo a ABNT NBR 15575, item 3.42 (ABNT, 2013), o período de tempo em que um edifício e/ou seus componentes se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho previstos, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção. Cumpre lembrar, segundo Grandiski (2013), que a vida útil não pode ser confundida com o prazo de garantia legal ou contratual, que também está destacado na norma.

A vida útil de projeto (VUP), segundo a definição do item 3.43 da NBR 15575 (ABNT, 2013), é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos na norma.

Consideram-se o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis e o estágio do conhecimento do momento do projeto. Supõe-se o atendimento e a periodicidade, além da correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção. A VUP não pode ser confundida com o tempo de vida útil, durabilidade e prazo de garantia legal ou contratual.

O valor mínimo de vida útil de projeto (VUP) especificado para o sistema estrutura está apresentado na NBR 15575-1(ABNT, 2013), tabela 7 do item 14.2.1 – Critério – Vida útil de projeto e está determinado como sendo maior ou igual a 50 anos. Devem ser considerados periodicidade e processos de manutenção segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012). O valor mínimo deve estar especificado no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário, elaborado em atendimento à NBR 14037 (ABNT, 2014). O anexo C tabela C.5 da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), que tem caráter informativo, estabelece ainda valores de VUP para nível intermediário maior ou igual a 63 anos e para o nível superior maior ou igual a 75 anos, ambos para o sistema - estrutura.

Estes valores são muito interessantes sob o prisma da discussão de um processo de proteção da armadura que é a galvanização, cujo objetivo é aumentar a vida útil do material e com isso atender, com segurança, às normas em vigor.

As definições para prazo de garantia contratual e legal, segundo os itens 3.34 e 3.35 da NBR 15575 (ABNT, 2013), respectivamente, são:

- prazo de garantia contratual: período de tempo, igual ou superior ao prazo de garantia legal, oferecido voluntariamente pelo fornecedor (incorporador, construtor ou fabricante) na forma de certificado ou termo de garantia ou contrato, para que o consumidor possa reclamar dos vícios aparentes ou defeitos verificados na entrega do produto. Este prazo pode ser diferenciado para cada um dos componentes do produto, a critério do fornecedor.
- prazo de garantia legal: período de tempo previsto em lei que o comprador dispõe para reclamar dos vícios (defeitos) verificados na compra de produtos duráveis. Na tabela D1 são detalhados prazos de garantia usualmente praticados pelo setor da construção civil, correspondentes ao período de tempo em que é elevada a probabilidade de que eventuais vícios ou defeitos em um sistema, em estado de novo, venham a se manifestar, decorrentes de anomalias que repercutam em desempenho inferior àquele previsto.

No caso das anomalias decorrentes de corrosão de armaduras, por serem vícios ocultos que se tornam defeitos com o passar do tempo, se não forem corrigidos, não seria correto que a responsabilidade do construtor cessasse com a entrega da obra. A lei assegura o direito de chamar à responsabilidade o construtor, independentemente da prova de sua culpa. Cabe lembrar, também, a corresponsabilidade entre projetista, incorporador e construtor, hoje vigente no CDC – Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 2010)

A NBR 6118 - Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimentos (ABNT, 2014) especifica as classes de agressividade ambiental em que a edificação está inserida (tabela 6.1 da ABNT NBR 6118). Em função desta classificação estabelece, na tabela 7.1, a relação água/cimento e a classe de concreto e na tabela 7.2, define o cobrimento nominal das armaduras. O item 6.3 traz os mecanismos de envelhecimento e deterioração a que uma estrutura de concreto armado fica sujeita.

Tanto a projetista como a construtora tem obrigação de seguir as prescrições normativas quanto às características do concreto (fator água/cimento e resistência à compressão) e quanto ao cobrimento da armadura, em função do meio ambiente. Portanto, cobrimento insuficiente e/ou concreto fora das especificações são falhas construtivas ou de projeto, sendo relativa à fabricação do concreto armado, e mesmo que descobertas, vencido o prazo de garantia de 05 anos, devem ser corrigidas dentro da vida útil prevista de 50 anos, conforme estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

O item 7.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014) trata das medidas especiais que se pode tomar em casos de exposição adversa de agressividade do meio e possibilita o uso de galvanização de armadura como uma dessas medidas preventivas, explicitando claramente o objeto deste trabalho.

7.7 Medidas especiais

Em condições de exposição adversas, devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies do concreto, revestimentos de argamassas, de cerâmicas ou outros sobre a superfície do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura e outros (ABNT, 2014, p21).

Os requisitos para garantir a qualidade e a durabilidade de estruturas de concreto armado, sujeitas as diversas condições de execução e exposição, são os básicos de patologia das construções. Mas a evolução tecnológica e de mercado está cada vez mais integrada com os conceitos de múltiplas áreas do conhecimento, como está representado na Figura 1.

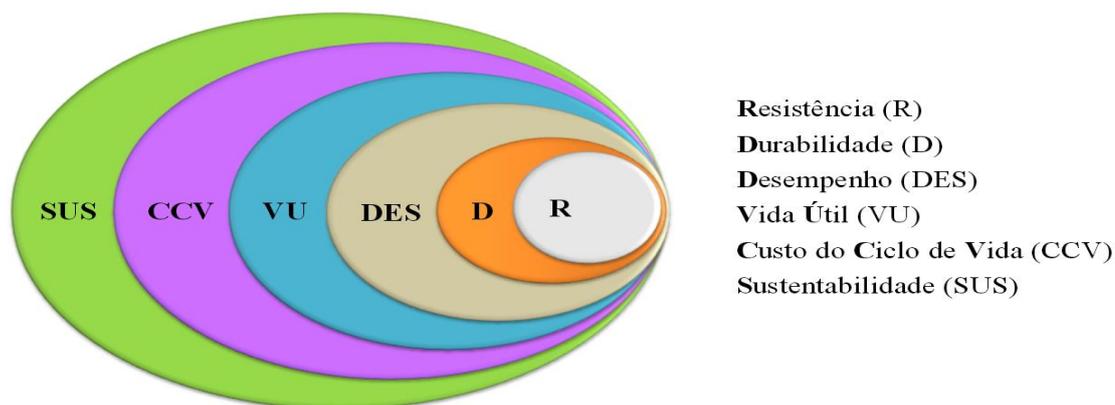


Figura 1 Evolução conceitual do projeto das estruturas de concreto
Fonte: POSSAN, 2010

2 Processos de corrosão de armaduras

Para entender a necessidade da proteção das armaduras em concreto armado, a fim de garantir a vida útil da estrutura, é preciso conceituar o processo de corrosão de armaduras e suas consequências, para depois poder prevenir as ações indesejadas com medidas adequadas, sendo uma delas o objeto deste trabalho.

Existem várias definições compatíveis sobre este processo, entre elas:

- *corrosão é a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica (HELENE, 1986).*
- *corrosão é a transformação, não intencional, de um metal em compostos não aderentes e solúveis no ambiente em que se encontra, a partir de suas superfícies expostas (BAUER, 1994).*

Gentil (2003) apresenta uma definição interessante para a corrosão de um metal e afirma que em alguns casos, se assemelha ao inverso do processo metalúrgico, e completa:

...o produto da corrosão de um metal é bem semelhante ao minério do qual é originalmente extraído. O óxido de ferro mais comumente encontrado na natureza é a hematita, Fe_2O_3 , e a ferrugem é o $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, isto é, o metal tendendo a retornar a sua condição de estabilidade (GENTIL, 2003, p. 1).

A Figura 2 apresenta o processo metalúrgico da corrosão de armaduras.

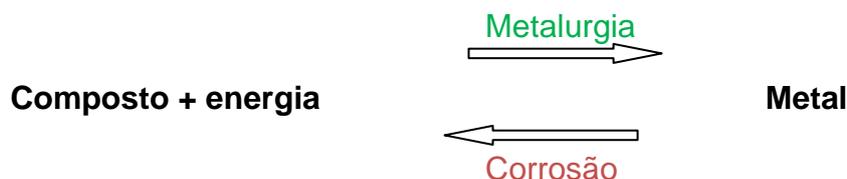


Figura 2 Processo Metalúrgico
Fonte: GENTIL, 2003, p.6

Os metais nobres (prata, ouro e platina) são estáveis e se encontram na natureza sob a forma metálica. Todos os outros metais são encontrados sob a forma de minérios e necessitam do processo metalúrgico, a fim de fornecer energia e transformá-los em metal. Desta forma, com o metal em equilíbrio meta estável, ao existirem condições propícias à perda da energia, haverá a corrosão e o retorno à sua composição original.

A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio e pode ou não estar associado a esforços mecânicos. A corrosão da armadura do concreto é um caso específico de corrosão eletroquímica em meio aquoso, no qual o eletrólito apresenta uma considerável resistividade elétrica (CASCUDO, 2005).

A corrosão de armadura depende, fundamentalmente, das características do concreto, do meio ambiente, da disposição das armaduras, em particular do revestimento das mesmas, e dos componentes estruturais afetados.

O concreto é um material básico, porque em sua composição se encontram hidróxido de cálcio, sulfatos, álcalis e outros elementos que produzem um meio com pH acima de 12, nas primeiras idades, e pH de até 13 nos concretos mais velhos.

A armadura, por estar em um meio alcalino, fica passivada em decorrência da formação de um filme de óxidos contínuo e aderente à superfície do aço. Por diversas causas, a passividade pode desaparecer em pontos localizados, ou completamente.

Uma dessas causas pode ser a redução do pH do concreto, devido a reações com o dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera e outros gases ácidos como SO₂ e H₂S. Esse processo denomina-se carbonatação e segue a reação $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. O pH de precipitação do CaCO₃ é cerca de 9,4 à temperatura ambiente, o que altera as condições de estabilidade química da película passivadora do aço (HELENE, 1986).

Outro fator que pode iniciar a corrosão de armadura é a presença de teores críticos de íons cloreto (Cl⁻). Para que eles exerçam uma função despassivadora é preciso que estejam numa certa proporção, a um valor determinado, dependendo do tipo de cimento e que não sejam íons combinados, mas livres e que, além disso, exista a presença de umidade.

O efeito da presença de íons agressivos é o de reduzir o pH em pontos discretos da película passivadora e o restante da armadura, destruindo-a totalmente. Nesses pontos formam-se zonas anódicas de pequenas dimensões e o restante da armadura constitui uma enorme zona catódica, ocorrendo uma intensa corrosão nesses pontos anódicos (FUSCO, 2012).

Por fim, tem-se ainda as pilhas de pH diferencial que se produzem normalmente em áreas fissuradas. Nessas áreas acontece uma carbonatação provocada pelo CO_2 procedente do ar, especialmente se o ambiente for úmido, fazendo com que o pH seja reduzido a valores próximos a 9, originando corrosão quando o meio deixa de ser alcalino. Esse tipo de corrosão é muito frequente em concreto armado e se concentra nas proximidades das fissuras, pontos que atuam como ânodos de uma pilha cujo cátodo estará no concreto sadio longe da fissura.

É unanimidade que a corrosão de armadura é extremamente danosa à estrutura de concreto. Os danos por corrosão podem afetar a capacidade estrutural dos componentes estruturais, devido fundamentalmente à diminuição da seção transversal das armaduras, à perda de aderência entre o aço e o concreto e à fissuração deste.

É muito importante observar que a formação da ferrugem, basicamente composta pelo Fe_2O_3 constitui uma reação expansiva, que causa a fissuração do concreto de cobertura, o qual, posteriormente, se desloca e expõe a armadura. Com o avanço da corrosão, há redução significativa da seção da armadura e de sua aderência ao concreto. O processo vai se tornando cada vez mais intenso, à medida que o tempo passa e, com isto, há diminuição da capacidade resistente da estrutura, o que determina a sua vida útil total (FUSCO, 2012).

A Figura 3 apresenta fotos de estruturas que sofreram o processo de corrosão das armaduras. As duas primeiras fotos referem-se a lajes de cobertura, face interna de reservatório de água potável; as fotos intermediárias mostram vigas com anomalias com processo intenso de corrosão de armaduras em ETA; e as fotos inferiores mostram o pé de pilar de garagem com segregação de concreto e armaduras expostas e corroídas e a laje de cobertura de reservatório de água potável com a passagem de tubulação afetando as armaduras.





Figura 3 Fotos de estruturas com armaduras em processo de corrosão intensa

3 Processo de galvanização a quente

3.1 Conceitos

O aço-carbono pode ser revestido com zinco (Zn) por diferentes processos, como eletrodeposição, pintura com tinta rica em zinco ou aspersão térmica e, ainda, zincagem por imersão a quente.

Esta última técnica é tradicionalmente usada para o revestimento de armaduras, dentre outros elementos metálicos, sendo também denominada galvanização a fogo e, no exterior, hotdip galvanizing. Em 1741, o químico francês Melouin descobriu que o recobrimento de zinco protege o aço contra a corrosão.

O principal objetivo da galvanização a quente é impedir o contato do material base, o aço (liga ferro-carbono), com o meio corrosivo, através da proteção por barreira e também por proteção catódica. Como o zinco é mais anódico do que o elemento ferro na série galvânica, é ele que se corrói, originando a proteção catódica, ou seja, o zinco se sacrifica para proteger o ferro. Mesmo que uma pequena área fique exposta, o metal base não sofre os efeitos da corrosão, pois sendo o zinco anódico ele aumentará sua taxa de corrosão protegendo catodicamente a área descoberta (ARAÚJO, 2015).

Segundo Silva Sobrinho (s/D) a galvanização por imersão a quente é um processo simples e rápido que consiste na imersão do aço em um banho de zinco fundido a 450°C, em processo controlado industrialmente. A temperatura de fusão do zinco puro é de 419,5°C. A temperatura normal de operação do processo de galvanização situa-se na faixa de 440°C a 470°C. Durante essa imersão, ocorre uma reação metalúrgica entre o aço e o zinco, que produz um revestimento contínuo formado por uma série de camadas de liga ferro-zinco, sendo a última (externa) constituída de zinco puro, conforme micrografia de fase Zn-Fe, como mostra a Figura 4.



Figura 4 Esquema típico de um revestimento galvanizado por imersão a quente
Fonte: YEOMANS, 2004

3.2 Etapas do processo

A Figura 5 apresenta o fluxograma do processo de galvanização a quente.

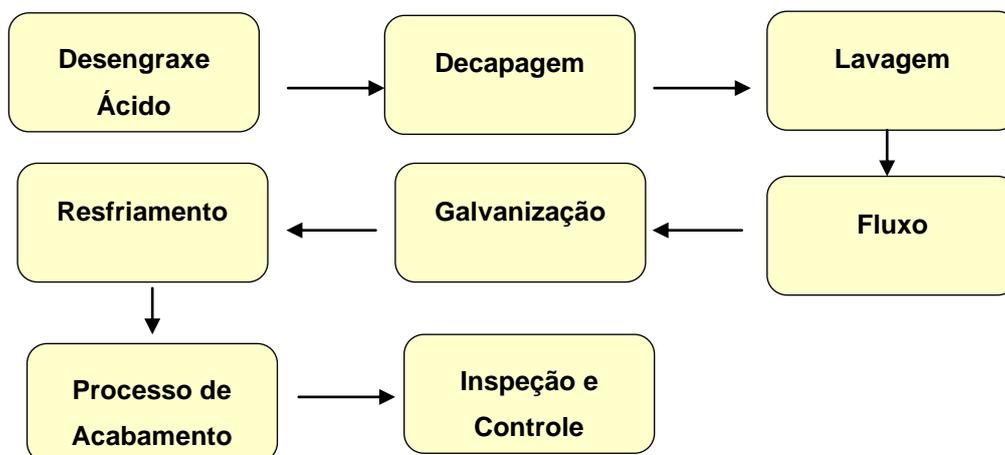


Figura 5 Fluxograma básico do processo de galvanização a quente
Fonte: BBOSCH, s/D

As etapas de galvanização a quente são:

- Fase 1: Desengraxe ácido: o material é imerso em solução desengraxante para remoção de óleos e graxas provenientes de seu processo produtivo, conforme mostra a Figura 6.



Figura 6 Desengraxe ácido

- Fase 2: Decapagem: o material é imerso em solução decapante para remoção de óxidos metálicos do mesmo, conforme Figura 7.

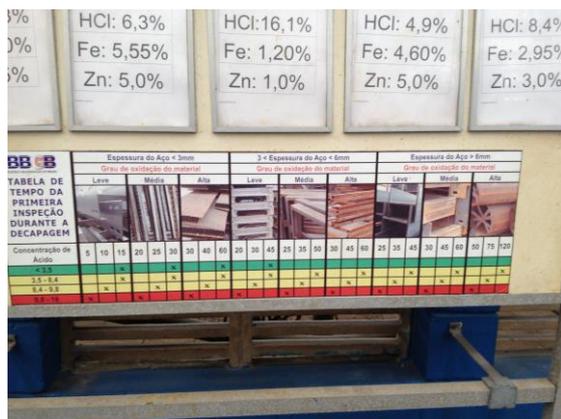


Figura 7 Decapagem

- Fase 3: Enxague (lavagem): remoção de materiais particulados, resíduos de ácido e secagem das peças, conforme Figura 8.



Figura 8 – Enxague (limpeza)

- Fase 4: Fluxo: banho em solução com sais para diminuir a tensão superficial entre o aço e o zinco, tornando a camada aderida mais uniforme, conforme Figura 9.



Figura 9 – Fluxo

- Fase 5: Galvanização: imersão do material em banho de zinco fundido a 445°C, conforme Figura 10.



Figura 10 – Galvanização

- Fase 6: Resfriamento / Passivação: após a galvanização o material é resfriado e ao mesmo tempo passivado, para retardar o aparecimento da corrosão branca que é natural do zinco, conforme Figura 11.



Figura 11 – Resfriamento e Passivação

- Fase 7: Processo de Acabamento: retirada de excessos e retoque com metalização, tinta rica em zinco ou barra de zinco, conforme Figura 12.



Figura 12 – Processo de acabamento

- Fase 8: Inspeção e Controle de Qualidade: os materiais são galvanizados de acordo com especificações e normatizações : ABNT NBR 6323, ASTM A123, ASTM A153, NBR 7397, 7398, 7399, 7400. A inspeção em conformidade com os requisitos exigidos por normas deve ser executada nas instalações do galvanizador, sendo as principais: espessura e massa por unidade de área da camada de zinco, uniformidade, aderência e aparência, conforme a Figura 13.



Figura 13 – Controle da espessura da camada de zinco e aparência do produto final

3.3 Propriedades

Existe uma ligação metalúrgica entre o aço e o zinco que garante forte aderência do revestimento do zinco no aço. Além disso, o revestimento de Fe-Zn apresenta dureza maior que o aço em si e confere ao mesmo, elevada resistência à abrasão. Desta maneira, o aço galvanizado não exige precauções especiais para proteger o revestimento durante o manuseio, transporte e instalação na obra.

As estruturas de concreto armado estão expostas a diferentes condições ambientais. As causas mais frequentes de corrosão do concreto armado são a redução da alcalinidade devido à presença de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico e/ou outros elementos ácidos (carbonatação) e a ação de íons despassivantes como cloretos (Cl⁻) na presença de oxigênio.

O aço galvanizado também pode suportar exposição a cloretos em concentrações superiores às suportadas pelo aço sem proteção. Segundo Monteiro (2005), a quantidade de cloreto necessária para despassivar o zinco é 4 a 5 vezes superior à do aço. Quando utilizado o aço sem proteção, deve-se considerar 0,4% como limiar superior de íons cloreto por massa de cimento. Já para o aço galvanizado, esse limite se eleva a 1,0%.

O zinco sofre corrosão a taxas entre 30-40 vezes inferiores ao aço, dissolvendo-se gradualmente e formando produtos de corrosão que são menos volumosos que os óxidos de ferro equivalentes. Portanto, não tem uma fase expansiva volumosa e esses produtos migram e preenchem as fissuras, vazios no concreto, diminuindo as tensões e, conseqüentemente, as fissurações. Como resultado, a deterioração do concreto é significativamente mais lenta.

O vergalhão galvanizado não sofrerá esses efeitos produzidos pela carbonatação à medida que o concreto envelhece, pois o zinco tem uma faixa de pH de passivação muito maior que o aço (pH entre 4 e 12).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1 Sobre o enfoque da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013)

A utilização de barras galvanizadas proporciona maior vida útil à estrutura devido a um processo corrosivo diferente do aço desprotegido, conforme evidencia a Figura 14.

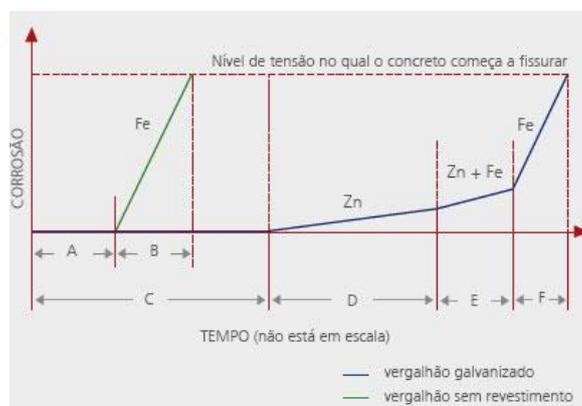


Figura 14 Cinética da corrosão da barra galvanizada comparada com a barra sem revestimento

Fonte: ICZ, 2015

A corrosão de armaduras pode ser caracterizada inicialmente como vício oculto, por ser um processo patológico lento, de difícil identificação, mas progressivo e causado por diversos fatores. Essa anomalia, se não corrigida, certamente se tornará um defeito com consequências na segurança e na estabilidade das estruturas, alterando a vida útil de projeto (VUP) e não atendendo a norma desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

Não seria razoável que a responsabilidade do construtor cessasse com a entrega da obra, tendo em vista que a maioria dos defeitos que estão relacionados com corrosão de armadura é oculta.

Tratando-se de danos relativos à obra, surge a responsabilidade independente da comprovação de culpa e basta que se comprove o dano e o nexo causal.

Outra questão de interesse para a perícia, ao se considerar a anomalia corrosão de armadura, é o prazo decadencial, que trata da perda de direito em si para pleitear na justiça a reparação do dano. O prazo decadencial inicia-se no momento em que fica evidenciado o defeito, segundo o artigo 26 do parágrafo 3 do Código de Defesa do Consumidor (CDC) (BRASIL, 2010). A corrosão de armaduras é uma anomalia de progressão lenta e de difícil detecção, mas com consequências graves e custosas. Nas perícias, via de regra, deve ser considerado o prazo decadencial.

4.2 Sobre os resultados dos ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório Falcão Bauer nos anos 2013 e 2014. Todos os ensaios foram 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 10mm e 25mm com o aço CA 50A.

Para as amostras padrão (sem revestimento) foram realizados ensaios de tração em 09 corpos de prova por diâmetro de vergalhão. Este número de ensaios está baseado na norma brasileira ABNT NBR 7480 (item 7) (ABNT, 2007).

Para os ensaios de dobramento foi estabelecido o mesmo número de corpos de prova, por coerência com o anterior.

Para os vergalhões galvanizados foi feita a caracterização do revestimento galvanizado com os seguintes ensaios:

- verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo – NBR 7399 (ABNT, 2009);
- verificação da aderência do revestimento: feito durante o ensaio de dobramento seguindo o ângulo estabelecido na norma brasileira NBR 6153 (ABNT, 1988);
- verificação da uniformidade do revestimento - NBR 7400 (ABNT, 2009).

Os resultados obtidos com os vergalhões galvanizados CA 50 usados no concreto armado, comparados com os vergalhões não galvanizados, permitem fazer as seguintes observações:

- todas as amostras ensaiadas com aço galvanizado e aço não galvanizado com diâmetro de 25mm encontram-se dentro das prescrições normativas brasileiras NBR 7480 (ABNT, 2007) e são similares entre seus pares;

- para o diâmetro de 10mm, o valor encontrado para o ensaio de coeficiente de conformação superficial está no limite normativo (1,5) para o aço não galvanizado, e está ligeiramente abaixo (1,3) para o aço galvanizado;
- todos os demais ensaios, para a bitola de 10mm, atendem a norma brasileira NBR 7480 (ABNT, 2007);

Como o processo de corrosão de armaduras é lento e demora anos para ser possível a verificação da degradação do material, foram realizados ensaios acelerados nas condições:

- NBR 8094: corrosão por exposição a névoa salina- câmara de salt spray, conforme Figura 15;
- NBR 8095: corrosão por atmosfera úmida saturada, conforme Figura 16;
- NBR 8096: corrosão por exposição ao dióxido de enxofre, conforme Figura 17.



Figura 15 Aspecto das barras com e sem galvanização após 28 dias de imersão em câmara salina

Fonte: OLIVAN, 2014

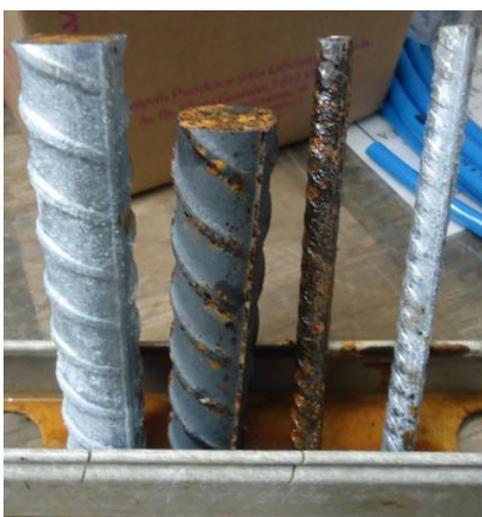


Figura 16 Aspecto das barras após ensaios acelerados em câmara úmida



Figura 17 Aspecto das barras após ensaios acelerados em câmara com SO₂

O único ensaio que apresentou significativa diferença no desempenho dos dois vergalhões, comuns e galvanizados, foi o ensaio de corrosão acelerada em névoa salina de 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. As Figuras 18 e 19 mostram a evolução da perda de massa no ensaio acelerado de névoa salina.

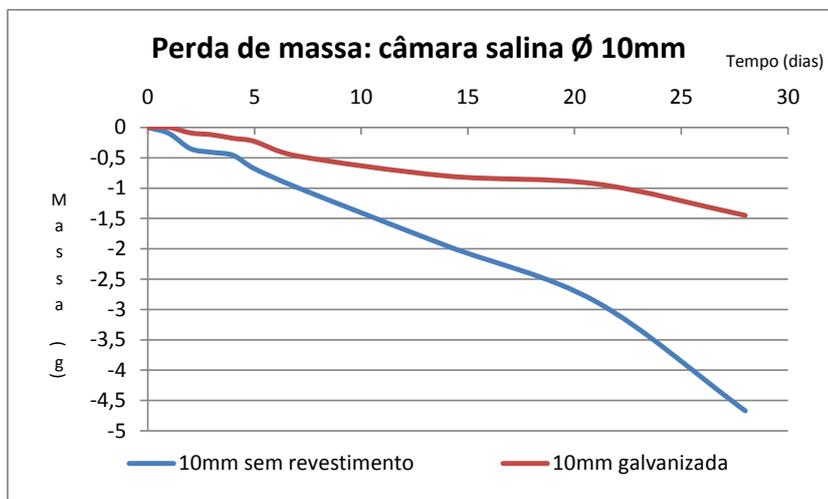


Figura 18 Perda de massa para barras de bitola 10mm

Fonte: OLIVAN, 2014

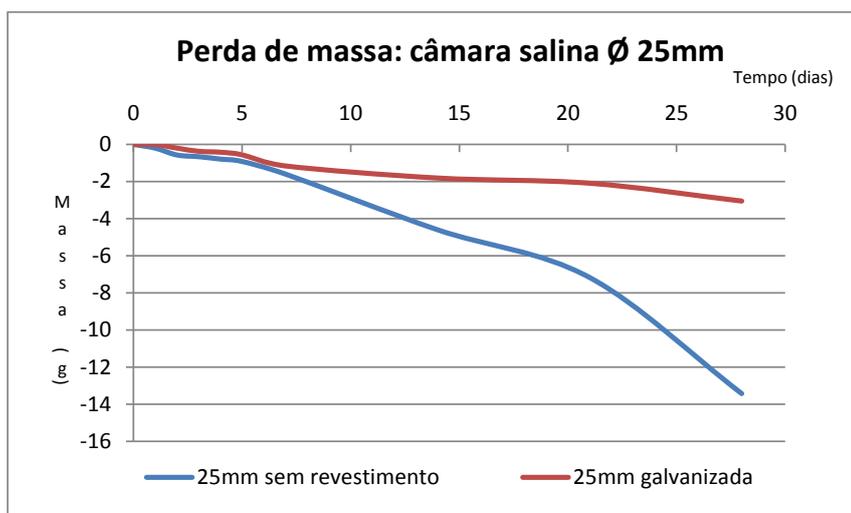


Figura 19 Perda de massa para barras de bitola 25mm

Fonte: OLIVAN, 2014

Nota-se nitidamente maior perda de massa nas barras comuns. Na bitola de 10 mm, a perda de massa do galvanizado foi de 1g OU 0,95%, enquanto a perda da barra comum foi de mais de 4,5 g ou 4,84%.

Para a bitola de 25 mm, a perda de massa da barra galvanizada foi de 2,5 g ou 0,42%, enquanto a perda de massa para o vergalhão comum foi de mais de 13 g ou 2,5%. No final do ensaio (28 dias) para a câmara salina, as amostras de aço galvanizado ainda apresentaram corrosão intensa branca, mostrando a presença de zinco protegendo o aço.

Os ensaios acelerados através da câmara salina, úmida e dióxido de enxofre mostraram o melhor desempenho do aço galvanizado quando comparado com o aço não galvanizado. Em nenhum dos casos, o aço galvanizado apresentou corrosão vermelha, que é o indicativo da corrosão do aço.

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.

No 1º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado, foram apresentados apenas os resultados de ensaios acelerados na câmara salina. Neste trabalho estão analisados todos os ensaios realizados.

4.3 Sobre o estudo econômico para recuperação de estruturas

Para o estudo econômico foi escolhida uma estrutura típica que sofre agressão por agente químico, no caso reservatórios de água potável de abastecimento de cidade.

Como a durabilidade do sistema utilizando aço comum é menor que a durabilidade quando se utiliza aço galvanizado, é necessário incluir o custo de manutenção ao longo da vida útil da estrutura. Para fazer esta comparação utilizou-se a metodologia de VPL (valor presente líquido), conforme Equação (1).

$$VPL = \underbrace{1}_{2015} + \frac{M_1}{\underbrace{(1+r)^{p_1}}_{2025}} + \frac{M_2}{\underbrace{(1+r)^{p_2}}_{2035}} + \frac{M_3}{\underbrace{(1+r)^{p_3}}_{2045}} + \dots \quad (1)$$

Legenda: VPL = valor presente líquido, M1= custo da manutenção no ano 1, M2=custo da manutenção no ano 2, r = taxa de retorno.

A Figura 20 mostra a comparação de custo, incluindo custos de manutenção.

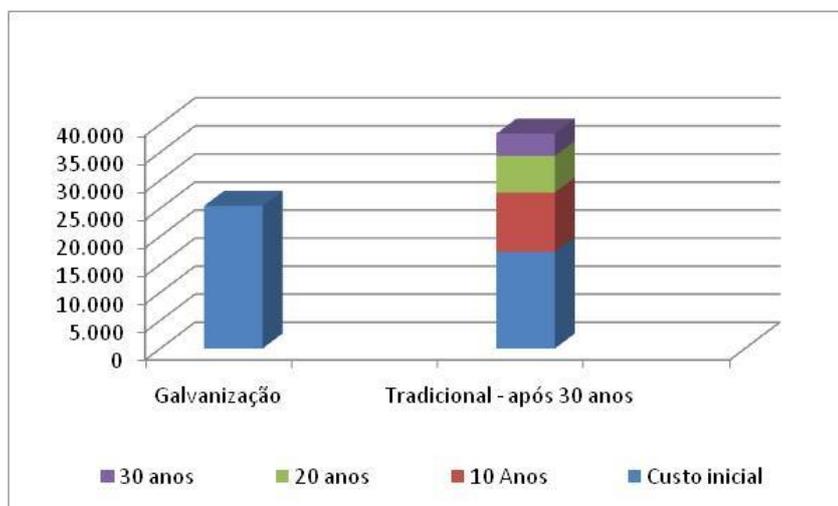


Figura 20 Gráfico com resultados comparativos

O estudo econômico mostrou que, considerando o investimento inicial e os custos das manutenções necessárias ao longo de 30, 40 e 50 anos, há uma redução no custo total do reparo quando utilizado o aço galvanizado. Enquanto o aço comum demanda manutenção, em média, no 10º ano após a obra concluída e a cada 10 anos (anos 20º e 30º da idade da obra), o aço galvanizado pode durar de 30 a 50 anos, ou mais. Os cálculos consideraram três 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 reparos.

O trabalho de recuperação com aço galvanizado não é um processo localizado na armadura com corrosão, pois toda a armadura existente deve ser retirada e substituída por armadura galvanizada. Isto acarreta produtividade, tanto para a execução como para a fiscalização.

Na execução de manutenção há significativa redução de custos indiretos com a diminuição de tempo e número de paralisações da estrutura. Normalmente o aço comum requer manutenção a cada 10 anos, e como o aço galvanizado sofre corrosão com uma velocidade de 4 a 5 vezes menor, a frequência de manutenção passa a girar em torno de 40 a 50 anos.

A utilização de aço galvanizado é mais indicada nos casos em que a agressividade do meio ambiente, em que a estrutura está exposta, reduz significativamente a vida útil da estrutura.

A alta durabilidade e a baixa manutenção levam ao menor consumo de recursos e acarreta uma quantidade menor de material de construção gasto.

No caso específico de reservatórios de água potável, no estudo econômico realizado em lajes de cobertura, a redução de custo é sempre maior que 25%, conforme mostra a Tabela 1, incluindo custos de manutenção.

Tabela 1 Redução de custos comparando o uso de vergalhão com e sem galvanização

Durabilidade estimada	Redução de custo total em relação à utilização do aço comum	
	Área da laje de cobertura do reservatório	
	28 m ²	850 m ²
30 anos	26,8%	25,9%
40 anos	33,6%	34,4%
50 anos	39,6%	40%

Fonte: OLIVAN, 2014

4.4 Sobre o estudo econômico para a construção de novos reservatórios de água potável com armaduras galvanizadas

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 usando aço galvanizado em todos os elementos estruturais do reservatório e, também, apenas na laje de cobertura e vigas.

A substituição do aço comum pelo galvanizado (somente na laje de cobertura) aumenta o custo inicial em 2,2% a 4,1%, conforme a capacidade do reservatório e, em todo reservatório, o custo inicial aumenta na faixa de 4,8% a 8,8%.

Considerando que não haverá necessidade de impermeabilização com cimento cristalizante, pois as armaduras já estarão protegidas, o incremento de custo inicial é de, no máximo, 2% para cobertura e 2,8% para toda a estrutura.

Com a durabilidade mínima do aço galvanizado em 30 anos, sem considerar o custo de oportunidade, a economia é de 28%. Incluindo a taxa de retorno de 5% (cenário pessimista), a economia no uso de aço galvanizado será de, aproximadamente, 40%, como no exemplo mostrado na Figura 21.

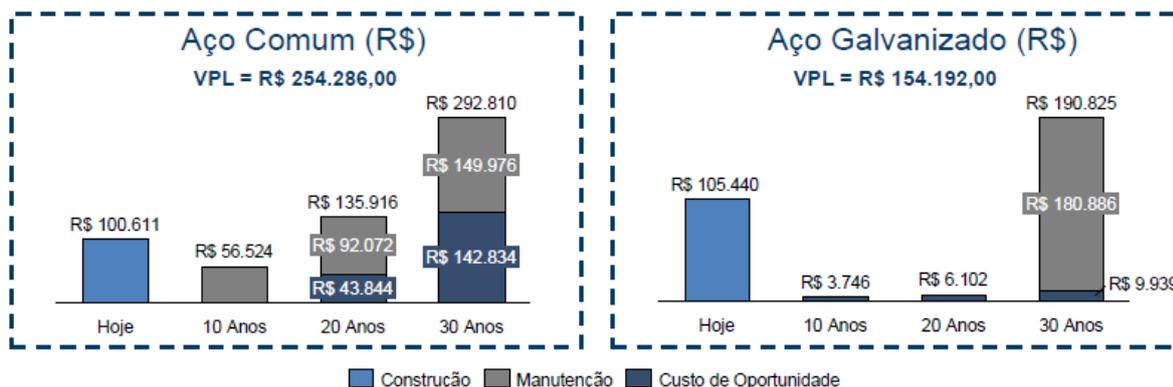


Figura 21 Valor presente líquido do custo de manutenção para construção de reservatórios

Fonte: OLIVAN, 2014

Assim a opção pela utilização do aço galvanizado representa economia em relação à utilização do aço comum.

5 PRINCIPAIS OBRAS BRASILEIRAS QUE UTILIZARAM ARMADURAS GALVANIZADAS

No campo de armaduras galvanizadas para serem usadas em concreto armado é que o Brasil está iniciando a sua utilização. Duas obras emblemáticas que usaram armaduras galvanizadas foram a Fundação Iberê Camargo e o Museu MAR – Museu de Arte do Rio de Janeiro.

O museu Iberê Camargo é uma obra do Arquiteto Álvaro Siza, destinado a exibir a coleção do importante pintor expressionista brasileiro. O projeto estrutural é do engenheiro português Jorge Nunes da Silva. Foi construído entre 2003 e 2008, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O edifício está localizado de frente para o rio Guaíba, em uma faixa de terra estreita, entre um trecho acidentado do terreno e a avenida Padre Cacique.

A obra foi erguida em concreto branco armado com aço galvanizado em toda a sua extensão, ou seja, não possui quaisquer elementos de vedação. Por isso, o cuidado com a preservação da armadura.

A Figura 22 apresenta fotos da obra, que mostram os pisos em madeira clara, mármore branco e as paredes acústicas de gesso branco, isoladas termicamente. Notar visualmente a percepção desequilibrada das rampas que começam e chegam ao mesmo ponto, ilusão criada pelo pé direito alto.





Figura 22 Fotos do Museu Iberê Camargo
Fonte: WIKIARQUITECTURA, 2015

O Museu de Arte do Rio de Janeiro (MAR), projetado pelos arquitetos do escritório Bernardes & Jacobsen, está instalado no Palacete Dom João VI, construído em 1916 e tombado em 2000, pelo Conselho Municipal do Patrimônio Cultural e no prédio em estilo modernista ao lado, onde funcionavam o Hospital da Polícia Civil e o terminal Mariano Procópio.

Com início de construção em 2010, foi inaugurado em 1º de maio de 2013, o primeiro projeto de renovação do conjunto urbano da praça Mauá, na região portuária do Rio de Janeiro.

Algumas informações técnicas sobre a concretagem da laje de cobertura fornecem a exata dimensão do problema enfrentado (PINIWEB, 2013) e a foto da Figura 23 ilustra a obra:

- data de concretagem: 05/05/2012
- dimensões: 25m x 66m
- área: 1.650 m²
- quantidade de aço: 70 toneladas
- peso: 800t
- forma: EPS de alta densidade
- concreto: 320 m³ (40 caminhões)
- duração da concretagem: 13 horas



Figura 23 Fase construtiva do Museu do MAR

Fonte: PINIWEB, 2013

CONCLUSÃO

Na análise dos resultados dos ensaios realizados fica evidente que a galvanização dos vergalhões de aço não altera as suas propriedades mecânicas.

Para se avaliar a diferença real de custos na utilização de barras de aço galvanizado em relação à utilização de vergalhões de aço comum em estruturas de concreto armado, 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 uma estrutura ou reparo de uma mais antiga. Porém, quando se analisa o aumento da vida útil da estrutura e o aumento do prazo sem manutenção e, mais ainda, quando se leva em consideração o valor presente líquido do custo das manutenções evitadas, esse custo se reduz.

A galvanização, por exemplo, no caso do custo total de um reservatório, proporciona uma redução significativa, da ordem de 40%, desde sua construção, até sua primeira manutenção.

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.

Com a utilização do aço galvanizado, há significativa redução na periodicidade das manutenções e, também, maior segurança nas estruturas. Dessa forma, a NBR 15575 (ABNT, 2013) passará a ser atendida com segurança.

A utilização de aço galvanizado é fortemente indicada para todas as estruturas em concreto armado que estão expostas aos ambientes de grande agressividade e são observadas altas taxas de corrosão, que reduzem significativamente a vida útil da estrutura.

Cabe lembrar que o aço galvanizado aumenta a durabilidade do concreto armado quanto à degradação por corrosão da armadura, mas a degradação do material concreto continua e necessita das medidas de proteção correntes.

Deve-se atentar para o fato que no julgamento de perícias judiciais, os juízes se baseiam nos valores de vida útil estabelecidos na NBR 15575 – Desempenho de Edificações (ABNT, 2013). Embora a norma de desempenho tenha sido desenvolvida para edificações habitacionais, os conceitos apresentados são abrangentes e podem ser estendidos a quase todos os tipos de obras, principalmente as que estão submetidas a agentes agressivos. Além disso, não existem outros parâmetros de vida útil e prazos de garantia a não ser os citados na referida norma para os juízes justificarem suas sentenças.

Entende-se por estado da arte, segundo definição no item 3.18 da NBR 15575 (ABNT, 2013), o estágio de desenvolvimento de uma capacitação técnica em um determinado momento, em relação a produtos, processos e serviços, baseado em descobertas científicas e tecnológicas e experiências consolidadas e pertinentes.

Hoje, a NBR 15575 (ABNT, 2013) é o estado atual da arte neste segmento de mercado. Este fato é irreversível e irá alavancar todo o mercado dos materiais que tem vida útil maior e próxima a 50 anos, como o caso do aço galvanizado que pode ser usado em concreto armado, objeto deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos - Publicação periódica científica impressa – Apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5674 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, Rio de Janeiro, 2012.

Janeiro, 2009.

_____. NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 13752 - Perícias de Engenharia na Construção Civil, Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, A; SILVA SOBRINHO, P; PANOSSIAN, Z. **Estruturas zincadas por imersão a quente em concreto armado**, Revista Corrosão & Proteção no. 55 – fevereiro/março 2015.

BAUER, L. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1994, 5ª edição v.2

BBOSCH, Galvanização a fogo: importância e aplicação, s/D (Catálogo), descritivo do processo www.bbosch.com.br/artigos.

BRASIL, **Código de Defesa do Consumidor**. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.

BRASIL, Código Civil. Lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002. **Institui o Código Civil**. Brasília, DF, 2002.

CASCUDO, O. **Inspeção e Diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão de armadura**, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, Cap. 35, p.1071 – 1108, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005

FUSCO, P. **Tecnologia do Concreto Estrutural: tópicos aplicados**, 2ª. ed, São Paulo: Ed. Pini, 2013, 199p

GRANDISKI, P. Prazos de garantia, decadência e prescrição na construção **civil**. Apostila do curso de perícias em edificações II, curso 185583/13 FAAP/IBAPE, São Paulo, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003. 341p.

HELENE, P. **Tecnologia de edificações. Corrosão de armaduras para concreto armado**. São Paulo: Editora Pini, p. 597-602 1988.

IBAPE/SP – Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias de Engenharia São Paulo

_____ **Pericias de Engenharia**. São Paulo, 2008.

_____ **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo, 2011.

ICZ - INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS. Vergalhão Galvanizado: durabilidade e segurança, Catálogo disponível em www.icz.org.br/bibliotecadigital-publicacoes.php, s/D.

QUEIROZ, R. Vícios no Código Civil e no Código de Defesa do Consumidor:. Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 5, n. 47, 1 nov. 2000. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/716>> Acesso em: 5 agosto 2015.

SILVA SOBRINHO, P. O que é galvanização a fogo - Zincagem por Imersão a Quente, www.icz.org.br/bibliotecadigital-publicacoes.php, s/D.

OLIVAN, L at al. **O uso de aço galvanizado visando o aumento da durabilidade das estruturas de concreto para obras de saneamento**, IN Anais do Congresso Fenasan Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, São Paulo, julho 2013.

_____ **Estudo comparativo de custos para estruturas de concreto armado usando vergalhão comum ou de aço galvanizado**, IN Anais do Intercorr Abraco, Ceará, Fortaleza, maio 2014.

PINIWEB,2013 – Museu de Arte do Rio é Inaugurado - Reportagem de Gustavo Jazra, acesso em 13/05/2015.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**, 2010. Tese de doutorado – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

YEOMANS, S. **Galvanized Steel Reinforcement in Concrete: An Overview**, USA:Ed Elsevier: University of New South Wales Canberra, Australia, 2004, 293p

WIKIARQUITETURA – DA ARQUITETURA DO MUNDO, Fundação Iberê Camargo, acesso em 13/05/2015.