



A Utilização de Anodos de Proteção Catódica nos Serviços de Recuperação e Reabilitação de Pontes e Estruturas de Concreto

Luiz Paulo Gomes

Diretor Técnico da IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão

Presidente da ABRACO-Associação Brasileira de Corrosão

LPgomes@iecengenharia.com.br

Resumo

A integridade de pontes e estruturas de concreto de um modo geral, em especial as influenciadas por água, cloretos e CO₂, são uma grande preocupação dos técnicos e engenheiros que trabalham com o projeto, construção, operação, inspeção e manutenção dessas construções importantes.

Pontes, viadutos, instalações portuárias, píeres de atracação de navios e edificações de um modo geral, notadamente os construídos junto a rios, ao mar e em ambientes úmidos, sofrem problemas de corrosão importantes, que precisam ser diagnosticados e solucionados em tempo hábil.

Algumas edificações com esse problema acabam, inclusive, entrando em colapso, devido à corrosão acentuada das armaduras, causando grandes prejuízos e ceifando vidas humanas, o que é inaceitável.

Quando as estruturas já estão contaminadas por cloretos, por exemplo, as técnicas convencionais de recuperação não são eficientes, e a única solução para eliminar a corrosão consiste na instalação de anodos de proteção catódica, desenhados especialmente para serem facilmente embutidos no concreto, durante os serviços de recuperação e reabilitação.

O assunto é tão importante que a ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, através de sua Comissão de Estudos de Proteção Catódica (ABNT CE-043:000.003), parte integrante do Comitê Brasileiro de Corrosão CB43, decidiu criar um Grupo de Trabalho que está elaborando o Projeto da Norma Brasileira de Proteção Catódica de Estruturas de Concreto (ABNT 043:000.003-008). O texto desse Projeto de Norma está sendo coordenado pelo autor desse trabalho técnico e será levado à consulta pública já no segundo semestre de 2025.

Além da ABNT, também o IBRACON-Instituto Brasileiro do Concreto e a ABRACO-Associação Brasileira de Corrosão, estão dando atenção especial às atividades de estudo, regulamentação e divulgação do tema proteção catódica de estruturas de concreto.

O IBRACON acaba de publicar o documento técnico “Procedimentos de Ensaio de Avaliação de Componentes Usados na Prevenção e Proteção Catódica de Armaduras”, também coordenado pelo autor desse trabalho técnico, e a ABRACO elaborou e disponibiliza em seu site a “Recomendação Prática RP-CAC-001” “Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto – Recomendações de Avaliação, Diagnóstico, Prevenção e Controle”.

Apesar de muito importante, econômica, comprovadamente eficiente e muito simples de ser instalada, a proteção catódica de estruturas de concreto ainda é pouco difundida no Brasil, sendo, por isso mesmo, muitas das vezes não considerada durante os serviços de projeto, construção, manutenção e, principalmente, recuperação de obras de concreto de um modo geral.

A finalidade desse trabalho técnico é contribuir para a divulgação do tema, mostrando como a utilização dos anodos podem tornar os serviços de recuperação e reabilitação de pontes e estruturas de concreto mais fáceis, eficientes, seguros, econômicos e de longa duração.

Palavras-chave

Concreto; Corrosão; Anodos; Proteção Catódica; Recuperação; Reabilitação.

1.Introdução

A corrosão das armaduras pode ocorrer devido ao fenômeno conhecido como carbonatação do concreto, devido à ação de cloretos e umidade ou devido à presença de interferências elétricas de correntes de fuga.

O fenômeno da carbonatação, como se sabe, consiste na perda de alcalinidade do concreto causada, principalmente, pela absorção de CO_2 (dióxido de carbono) na estrutura [27].

Já os cloretos e a umidade absorvidos pelo concreto, podem atingir as armaduras e destruir a passividade causada pelo meio alcalino. Sabemos, por exemplo, que os íons cloro (Cl^-) que destroem a película passivadora, não se consomem nas reações eletroquímicas de corrosão e alimentam permanentemente o processo corrosivo, e que o cloreto de sódio (NaCl) e a umidade reduzem significativamente a resistividade elétrica do concreto, acelerando a corrosão das armaduras [27].



Figura 1. Corrosão em armaduras de estruturas de concreto devido à presença de cloretos.

A terceira causa de corrosão, muito importante e pouco conhecida dos técnicos e engenheiros de um modo geral, é o fenômeno conhecido como corrosão eletrolítica ou corrosão por correntes de fuga (“stray-current corrosion”), que pode acontecer, na prática, quando a estrutura de concreto está construída nas proximidades de uma ou mais linhas férreas eletrificadas com corrente contínua (trens urbanos e metrô) ou ainda na proximidade de dutos enterrados com proteção catódica (oleodutos, gasodutos, adutoras, alcooldutos e minerodutos) [1].

A corrosão em armaduras pode ser totalmente eliminada, com eficiência, simplicidade e baixo custo, mediante instalação de anodos de proteção catódica, sendo que, em muitas situações, a técnica de proteção catódica é a única solução capaz de resolver em definitivo problemas importantes de corrosão, conforme mostrado em vários estudos, pesquisas e publicações de entidades técnicas renomadas, tais como: AMPP [1], FHWA [2], NACE [3, 4], ACI [5], IPT [6], ABRACO [7], IBRACON [27] e ABNT [26].

2.Proteção Catódica

A proteção catódica é considerada a técnica mais versátil e segura para o controle da corrosão de armaduras de estruturas de concreto. Qualquer tipo de estrutura (nova ou existente, aérea, enterrada ou submersa, com

corrosão avançada ou apenas começando) pode ser protegida com a instalação dos anodos galvânicos ou inertes.

A finalidade dos anodos é modificar suavemente o potencial das armaduras em relação ao concreto, de modo a eliminar o funcionamento das pilhas de corrosão, conforme mostrado nos Diagramas de Equilíbrio Termodinâmico para o Sistema Ferro-Água, também conhecidos como Diagramas Potencial x pH ou Diagramas de Pourbaix [14].

Esses diagramas apresentam formatos diferentes para estruturas de concreto carbonatadas ou com cloretos e mostram que a modificação suave do potencial das armaduras (finalidade dos anodos de proteção catódica) consiste, na prática, na maneira mais eficiente de evitar o processo corrosivo das armaduras, com elevado grau de confiabilidade e independentemente dos níveis de CO₂, umidade e cloretos absorvidos pelo concreto [2], [3], [4], [7], [26] e [27].

3. Anodos Galvânicos para Proteção Catódica de Armaduras

A proteção catódica galvânica é o método mais utilizado na proteção contra a corrosão de estruturas de concreto e utiliza anodos de zinco de alta pureza, que são fornecidos com arame de aço recozido ou aço inox (para serem amarrados com facilidade às armaduras) e já encapsulados em argamassa de pH igual ou superior a 14 (para serem mantidos permanentemente ativados dentro do concreto).

Os anodos são fabricados em vários formatos e dimensões e podem ser instalados durante a construção de uma obra nova, durante os serviços de recuperação/reabilitação ou ainda nos locais onde a corrosão ainda não aflorou, mas já foi detectada pelas medições dos potenciais armadura/concreto, conforme ASTM C 876-15 [15].



Fig. 2 – Instalação de anodos galvânicos de proteção catódica. Os anodos são simplesmente amarrados às armaduras durante os serviços de reabilitação de obras antigas ou de construção de uma obra nova.

4. Principais tipos e exemplos de instalação de anodos de proteção catódica

a) Anodo Galvashield XP: Esse tipo de anodo, muito utilizado em obras novas e nos serviços de recuperação/reabilitação, foi desenhado para ser simplesmente amarrado às armaduras, com grande facilidade e sem a necessidade de mão de obra especializada, garantindo proteção eficiente e duradoura.

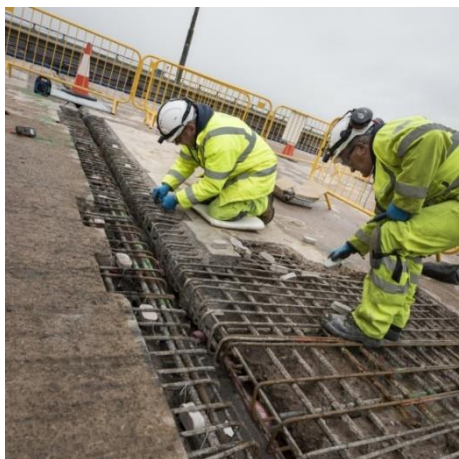


Figura 3. Instalação de anodos galvânicos Galvashield XP durante os serviços de reabilitação/recuperação de uma ponte.

b)Anodo Galvashield DAS: Esse outro tipo de anodo, mais alongado, possui massa maior e é recomendado para instalação em regiões com grande densidade de aço, grande ocorrência de cloretos e grande área superficial a ser protegida.

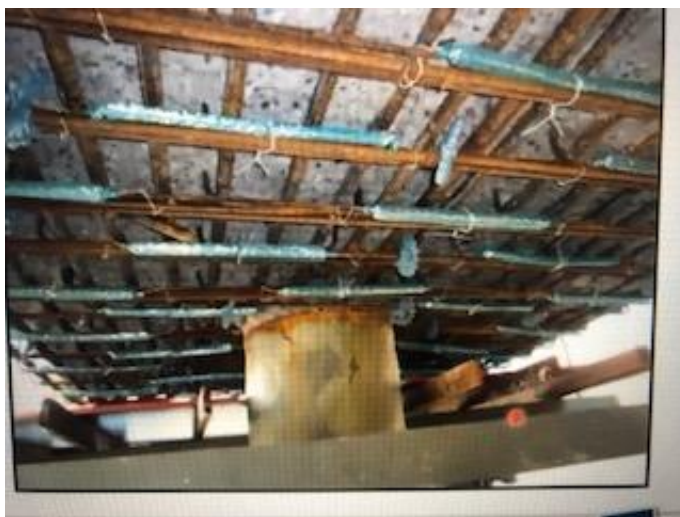


Figura 4. Instalação de anodos galvânicos Galvashield DAS (peças vermelhas e verdes) durante os serviços de reabilitação de uma estrutura de concreto no mar. A instalação dos anodos durante os serviços de reabilitação é a única maneira de garantir proteção integral das armaduras a longo prazo, qualquer que seja o teor de cloretos e de umidade presentes.



Figura 5. Outro exemplo de instalação dos anodos galvânicos Galvashield DAS (peças verdes), agora nos serviços de reabilitação e reforço dos pilares de um edifício residencial nas proximidades do mar.

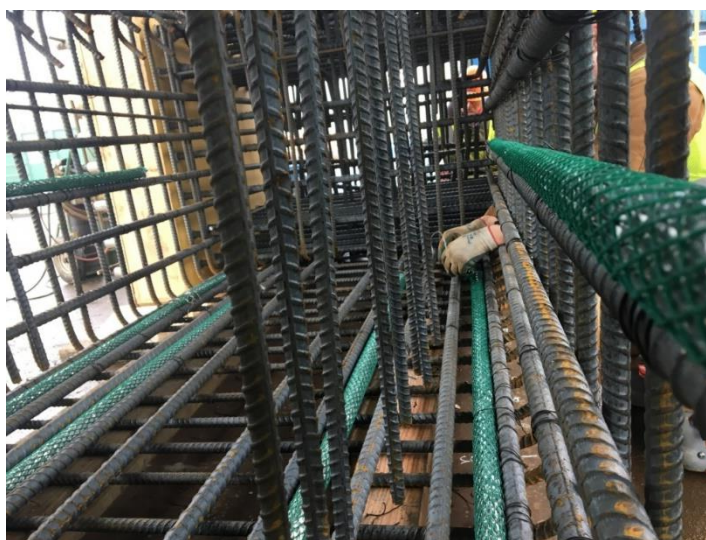
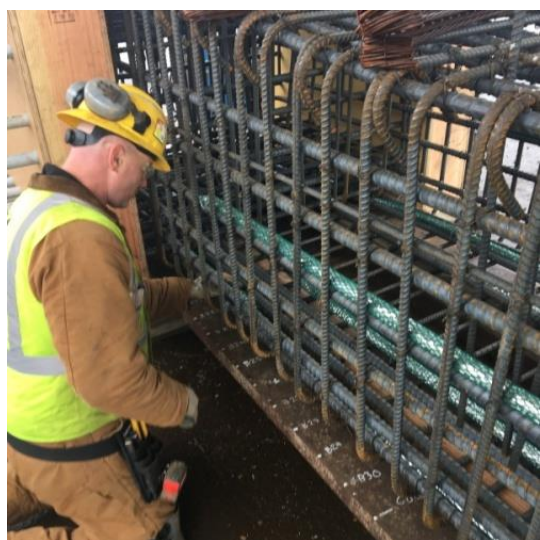


Figura 6. Instalação de anodos galvânicos Galvashield DAS (peças verdes), durante a construção de uma obra nova, para prevenir a corrosão das armaduras durante toda a vida da estrutura.

c) Anodo Galvashield CC: Esse tipo de anodo, de formato cilíndrico, foi desenvolvido para ser embutido no concreto, nos locais onde as armaduras não estão aparentes e a corrosão ainda não aflorou, mas o processo corrosivo já está em atividade. A verificação em campo dos locais com corrosão ativa e definição da necessidade de instalação dos anodos, é feita com as medições dos potenciais das armaduras em relação ao concreto (potenciais armadura/concreto), com o auxílio de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Cu/CuSO₄, conforme ASTM C876 [15].

A necessidade ou não de instalação dos anodos pode ser definida da seguinte maneira:

- Potencial armadura/concreto igual ou mais negativo que -350mV: alto risco de corrosão, 90% de probabilidade da ocorrência de corrosão ativa. Necessidade de instalação de anodos de proteção catódica Galvashield CC nesses locais.
- Potencial armadura/concreto entre -350mV e -200mV. Maior ou menor probabilidade de ocorrência de corrosão ativa. Necessário instalar anodos, em especial nos locais com potenciais mais próximos de -350mV.
- Potencial armadura/concreto menos negativo que -200mV; baixo risco de corrosão, 90% de probabilidade de não haver corrosão ativa. Não é necessário a instalação de anodos nesses locais.



Figura 7. Medições dos potenciais das armaduras em relação ao concreto, com o auxílio de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Cu/CuSO₄. De acordo com os resultados consegue-se mapear as regiões de corrosão ativa e definir os locais para a instalação dos anodos galvânicos Galvashield CC, sem a necessidade de quebrar o concreto e expor as ferragens.

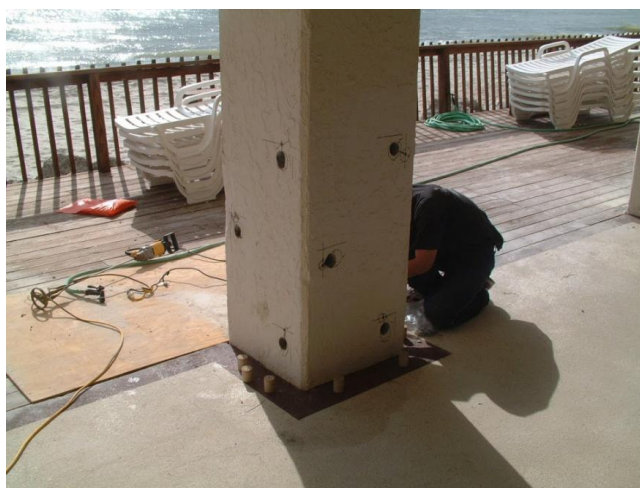


Figura 8. Instalação de anodos galvânicos Galvashield CC em pilar de viaduto e em coluna de um edifício residencial, nos locais onde as medições dos potenciais indicaram a presença de corrosão ativa.

d)Anodo Galvashield SM-DAS: Esses anodos foram desenhados para serem instalados sobre a superfície do concreto, nos locais onde as armaduras já apresentam corrosão ativa, sem a necessidade de quebrar, cortar ou furar a estrutura.



Figura 9. Anodos galvânicos Galvashield SM-DAS instalados sobre a superfície e sem a necessidade de quebrar ou furar o concreto. A instalação é feita nos locais de corrosão ativa, identificados através das medições dos potenciais das armaduras em relação ao concreto ou nos locais onde o concreto foi recuperado.

e)Anodos Galvashield Jacket: Esses anodos são instalados na reabilitação de estacas de concreto no mar, para eliminar a corrosão severa que acontece na zona de variação de marés. Nesses casos os anodos são instalados com o auxílio de uma jaqueta de PVC ou fibra de vidro, que serve apenas para facilitar a instalação e não tem função estrutural.



Figura 10 Instalação do sistema Galvashield Jacket para a proteção de estacas de concreto na zona de variação de marés.

5.Como Dimensionar os Anodos

O dimensionamento dos anodos pode ser feito mediante consulta na literatura técnica especializada relacionada no presente trabalho [8], [13], [26], [27], [28].

6.Conclusões

6.1-A instalação de anodos de proteção catódica é a maneira mais segura e econômica para garantir proteção contra a corrosão de armaduras de estruturas de concreto durante os serviços de reabilitação/recuperação, qualquer que seja o risco de corrosão, teores de cloretos, nível de carbonatação e vida útil desejada.

6.2-Na maioria dos casos essa é a única solução capaz de trazer resultados confiáveis e permanentes, razão pela qual deve ser sempre considerada, não somente nos serviços de reabilitação/recuperação, mas também no projeto e construção de novas obras.

6.3 Os anodos podem ser instalados durante a construção de uma estrutura nova, durante os serviços de reabilitação ou ainda nos locais onde a corrosão ainda não aflorou, mas já está em atividade, situação que pode ser detectada pelas medições dos potenciais das armaduras em relação ao concreto.

6.4 Para a proteção contra a corrosão de armaduras de estacas de concreto, em especial na zona de variação de marés, onde a incidência de corrosão é maior, a instalação dos anodos galvânicos é feita com o auxílio de jaquetas de PVC ou fibra de vidro, solução definitiva e de eficiência comprovada.

6.6 O dimensionamento dos anodos pode ser feito de forma prática e eficiente, mediante consulta na literatura técnica especializada.

7. Referências

- [1] AMPP-ASSOCIATION FOR MATERIALS PROTECTION AND PERFORMANCE (Antiga NACE), AMPP SP 21427-2023, Detection and Mitigation of Stray-Current Corrosion on Reinforced and Prestressed Concrete Structures, Set 2023.
- [2] FHWA-FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Department of Transportation, Research and Development, Long-Term Effectiveness of Cathodic Protection Systems on Highway Structures. Publication No. FHWA-RD-01-096. Georgetown Pike McLean, VA, 96 p, 2001.
- [3] NACE-NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (Atual AMPP), NACE SP0216, Sacrificial Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures, 2016.
- [4] NACE-NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (Atual AMPP) , NACE SP0290, Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures, 2019.
- [5] ACI-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI PRC-546-14-E706, Guide to Concrete Repair, Installation of Embedded Galvanic Anodes.
- [6] IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, ARAUJO, A.; CARDOSO, J.L.; RIBEIRO, J.L.S.; BRAGA, M.V.S.; PANOSSIAN, Z. Avaliação Laboratorial de Tecnologias de Reparo na Reabilitação de Estruturas de Concreto Armado. Conferência de Tecnologia e Equipamentos, COTEQ, Rio de Janeiro, 2019.
- [7] ABRACO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. ABRACO RP – CAC 001: Corrosão de Armaduras em Estruturas de Concreto – Causas, Avaliação, Diagnóstico, Prevenção e Controle. Rio de Janeiro, 53 p, 2019.
- [8] IEC-INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO, Livro Sistemas de Proteção Catódica, Segunda Edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 376p., 2020.
- [9] BRITISH STANDARDS BS EN ISO 12696, Cathodic Protection of Steel in Concrete, 2016.
- [10] GOMES, L.P., Utilização de Anodos Galvânicos para a Proteção Catódica de Armaduras de Reforço de Estruturas de Concreto. Revista ABRACO - Corrosão e Proteção, v.16, n.67, p.39-45, 2019.
- [11] GOMES, L.P., Corrosão e Proteção Catódica de Armaduras de Aço, Revista IBRACON Concreto e Construções, Edição 100, Out/Dez 2020.
- [12] DUTRA, A.C.; NUNES, L.P. Proteção Catódica: Técnica de Combate a Corrosão. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 344p.

- [13] VECTOR CORROSION TECHNOLOGIES, Section 03700, Embedded Galvanic Anodes, Part 1, General, 4p, 2023.
- [14] POURBAIX, M., Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions, NACE, Houston, Texas, 648p, 1974.
- [15] ASTM C876-15, Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoated Reinforced Steel in Concrete, 2015.
- [16] ASTM B418 – Standard Specification for Cast and Wrought Galvanic Zinc Anodes.
- [17] NACE TM0294-2016-SG (Testing of Embeddable Impressed Current Anodes for Use in Cathodic Protection of Atmospherically Exposed Steel-Reinforced Concrete.
- [18] ABNT NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão), Rio de Janeiro, 259p., 2008.
- [19] ACI Repair Application Procedure (RAP) Bulletin 8 – Installation of Embedded Galvanic Anodes
- [20] ACI Guideline No. 222 – Corrosion of Metals in Concrete.
- [21] ACI 562 - Code Requirements for Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Buildings.
- [22] ICRI Guideline 310.1R - Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion.
- [23] ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro, 96p., 2021.
- [24] ABNT NBR 16294: Anodos de titânio com óxidos de metais nobres para proteção catódica. Rio de Janeiro, 4p., 2008.
- [25] ABNT NBR 7288: Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1 kV a 6 kV – Especificação. Rio de Janeiro, 20p., 2018.
- [26] ABNT 043:000.003-008: Projeto de Norma sobre Corrosão e Proteção Catódica de Estruturas de Concreto – Documento em Fase Final de Elaboração, a ser levado a consulta pública no segundo semestre de 2025.
- [27] IBRACON CT702/SC07: Prática Recomendada – Prevenção e Proteção Contra a Corrosão de Armaduras por meio de Proteção Catódica – 2024.
- [28] GOMES, L.P.: Dimensionamento Prático de Anodos Galvânicos para Proteção Catódica de Armaduras de Estruturas de Concreto, BADUCON2024, Outubro de 2024.