

# Corrosão & Proteção

Revista da Associação Brasileira de Corrosão • ISSN 0100-1485 • Ciência e Tecnologia em Corrosão

Ano 16 | nº 67 | abr./mai./jun 2019



**Ensino da Corrosão:  
Conhecimento, uma ponte  
para o futuro!**

A **Revista Corrosão & Proteção** é uma publicação oficial da ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão, fundada em 17 de outubro de 1968.

ISSN 0100-1485

#### **DIRETORIA EXECUTIVA ABRACO** **Biênio 2017/2018**

##### **Presidente**

Olga Baptista Ferraz - INT

##### **Vice-presidente**

Zehbour Panossian - IPT

##### **Diretores**

Danilo Natalio Sanches – ZINCOLIGAS

Eduardo Torres Serra – INDIVIDUAL

Adauto Carlos Colussi Riva – RENNER COATING

Carlos Roberto Patrício – BBOSCH

Diego Gonzalo Hita – HITA

José Rocha Andrade da Silva – ELÉTRON QUÍMICA

##### **Conselho Editorial**

Dra. Célia Aparecida Lino dos Santos

Dra. Olga Baptista Ferraz

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

Athayde Ribeiro – ABRACO

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

#### **REVISTA CORROSÃO & PROTEÇÃO**

##### **Revisão Técnica**

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

##### **Jornalista Responsável**

Lívia Andrade (MT 0038444/RJ)

##### **Redação e Publicidade**

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão

##### **Fotografias**

Arquivo ABRACO, arquivos pessoais, Can Stock Photo, Depositphotos, Dollar Photo, Fotos Públicas, Pexels, Shutterstock e Stock Unlimited.

A **Revista Corrosão & Proteção** é um veículo eletrônico concebido, desenvolvido e editado pela ABRACO. O periódico é publicado trimestralmente no site da Associação ([www.abraco.org.br/revistas](http://www.abraco.org.br/revistas)). A ABRACO não se responsabiliza, nem de forma individual, nem de forma solidária, pelas opiniões, ideias e conceitos emitidos nos textos, por serem de inteira responsabilidade de seus autores.

- 03** Editorial
- 05** GRANDES NOMES DA CORROSÃO  
Prof. Celso Gnecco  
Prof. Fernando Fragata  
Prof. Segehal Matsumoto
- 07** ARTIGO CIENTÍFICO  
Avaliação da proteção catódica em corpos de prova de concreto com armadura em estado passivo e ativo de corrosão  
*Adriana de Araujo, Juliana L. Cardoso, José L. S. Ribeiro, Thales G. Rosa, Marcos V. S. Braga e Zehbour Panossian*
- 23** ARTIGO TÉCNICO  
Pinturas anticorrosivas: ensaios de imersão em laboratório  
*Celso Gnecco e Daniella Sato*
- 39** ARTIGO TÉCNICO  
Utilização de Anodos Galvânicos para a Proteção Catódica de Armaduras de Reforço de Estruturas de Concreto  
*Luiz Paulo Gomes*
- 46** ARTIGO TÉCNICO  
Barra de aço para armadura de concreto galvanizada por imersão a quente  
*Ricardo Suplicy Goes*
- 53** Cursos de corrosão e proteção anticorrosiva oferecidos pela ABRACO buscam capacitar mais profissionais na área
- 58** OPINIÃO  
Como a tecnologia epóxi amina alquilada traz vantagens no combate à corrosão sob isolamento  
*Mensagem da AkzoNobel*
- 61** Programação de cursos 2019
- 62** Notícias ABRACO
- 69** Agenda de eventos 2019
- 70** 21<sup>st</sup> International Corrosion Congress - ICC & INTERCORR 2020
- 72** Seminários programados para agosto e setembro
- 74** Empresas associadas

## Ensino da Corrosão

# A ABRACO no cumprimento de seus objetivos

Assim preceitua a missão da Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO: difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando Empresas, Entidades e Especialistas e contribuindo para que a sociedade possa garantir a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

Para que esta missão seja cumprida a Associação congrega especialistas, centros de pesquisas, universidades e empresas devotadas ao estudo e ao combate da corrosão, realizando cursos, eventos, reuniões técnicas, fóruns de discussão, dentre outras iniciativas.

Através dos cursos a ABRACO contribui para disseminação do conhecimento em relação aos fundamentos da corrosão e das técnicas de proteção anticorrosiva, contando para isto com um corpo de especialistas de competência reconhecida na comunidade.

É importante frisar que o ensino da corrosão é também realizado nas universidades em termos de graduação e pós-graduação, escolas técnicas e outras entidades como, por exemplo, o SENAI.

A corrosão é um assunto multidisciplinar, envolvendo conhecimentos de química, eletroquímica, metalurgia, eletricidade, dentre outros e está presente nas indústrias, na construção civil, nas instalações portuárias, na área naval e outras instalações marítimas e porque não dizer em todos os aspectos do cotidiano da sociedade.

A solução de problemas de corrosão requer conhecimento e experiência profissional, no que se refere ao conhecimento a ABRACO contribui para formação profissional com cursos básicos, cursos para qualificação profissional e ainda cursos específicos para as empresas.

Neste número da revista Corrosão e Proteção está evidenciada a importância do ensino na difusão do conhecimento e reconhecendo a atuação de nossos professores neste processo. Nos sentimos muito honrados em participar desta contribuição para o avanço tecnológico e de seus benefícios para a sociedade brasileira.

**Olga Baptista Ferraz**

Presidente da ABRACO



# Robustez e confiabilidade. Mesmo em ambientes agressivos.

A NOVA SÉRIE MMS® INSPECTION



A proteção contra corrosão inicia muito antes da primeira camada de pintura. O Kit para corrosão MMS Inspection inclui 3 equipamentos necessários antes, durante e depois de aplicação da proteção. Com o rugosímetro, é possível determinar o perfil da superfície para garantir que está pronta para receber a pintura. Com o medidor de ponto de orvalho, se pode obter todos os dados necessários para controle da umidade e garantir a aderência correta. O poderoso medidor de espessura de camada é seu confiável companheiro para medição precisa de camadas seja em bases ferrosas ou não-ferrosas. Para ter as análises completas a Fischer oferece também o Kit Bresle, que permite a verificação simples e rápida de contaminação da superfície com sal.

**FISCHER DO BRASIL**

+55 (11) 3588-0909

brasil@helmutfischer.com

www.helmut-fischer.net.br

**fischer**®

## GRANDES NOMES DA CORROSÃO

# Prof. Celso Gnecco

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra



# Importante professor e ícone da pintura anticorrosiva no Brasil

Eng. Celso Gnecco é um eminente professor, estudioso da corrosão e da pintura anticorrosiva, com toda uma vida dedicada ao ensino e ao treinamento tecnológico, com uma inigualável capacidade de trabalho e de comunicação com os alunos. Tem sido um profissional motivador do interesse pela pintura anticorrosiva, tendo concebido e realizado inúmeros cursos em todo o Brasil e disponibilizando para a comunidade um grande acervo de trabalhos técnicos, inclusive na Revista Corrosão e Proteção, da ABRACO. A sua extrema capacidade de comunicação, trabalho, dedicação e humildade, que só os sábios possuem, têm impactado profundamente nos conceitos e nos estudos da pintura anticorrosiva no Brasil.

Foi Presidente da Comissão de Métodos de Ensaio em Tintas, da ABNT. É coautor também da APOSTILA TÉCNICA e CARTILHA DO PINTOR - Pinturas Ypiranga, juntamente com Fernando Fernandes, em 1989).

Desde 1993 atua como Professor da ABRAFATI - Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, no Curso de Tecnologia em Tintas, sendo coautor do Livro da ABRAFATI - TINTAS: CIÊNCIA E TECNOLOGIA (1ª a 4ª edições de 1993 a 2009).

No Instituto Brasileiro de Siderurgia - (IBS) foi coautor do livro "ESTRUTURAS DE AÇO"- CONCEITOS, TÉCNICAS E LINGUAGEM, juntamente com Luís Andrade De Mattos Dias - Editora Zigurate. Ainda no IBS em 1997 foi coautor do Livro Tratamento de Superfície e Pintura - Publicação IBS/CBCA da série Manual de Construção em Aço, juntamente com R. Mariano e F. Fernandes, em 2003.

Autor das "Historinhas do Pincelzinho" publicadas na revista "Pintura Industrial" da Editora Ávila-Agnelo.

Na Associação Brasileira de Corrosão participou como Membro do Conselho Deliberativo da ABRACO, nos biênios 93/95, 96/97 e 98/99. Atua como Instrutor do curso de inspetores de pintura (N1 e N2 da ABNT NBR 15218) da ABRACO, desde 2007.

Atualmente o Prof. Celso continua, para nossa satisfação, em plena atividade, dando cursos na Sherwin-Williams - Unidade Sumaré. É por tudo isto que o Prof. Celso Gnecco é um grande exemplo para toda a comunidade da corrosão.

### Referência

- Acervo da Biblioteca da ABRACO.

GRANDES NOMES DA CORROSÃO

## Prof. Fernando de Loureiro Fragata

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra



# Importantíssimo professor e pesquisador líder da pintura anticorrosiva no Brasil

O Eng. Fernando de Loureiro Fragata é um eminente professor e pesquisador, estudioso da corrosão e da pintura anticorrosiva, com toda uma vida dedicada ao ensino e à pesquisa tecnológica, com uma inigualável capacidade de trabalho e de comunicação com os alunos. Tem sido um profissional motivador do interesse pela pintura anticorrosiva, tendo concebido e realizado inúmeros cursos em todo o Brasil e disponibilizado para a comunidade um grande acervo de trabalhos técnico-científicos, merecendo destaque o seu livro Pintura Anticorrosiva – Falhas e Alterações nos Revestimentos. A sua extrema capacidade de comunicação, trabalho e dedicação têm impactado profundamente nos conceitos e nos estudos da pintura anticorrosiva em nossa terra.

O Prof. Fragata é de origem portuguesa nasceu em Portugal e veio para o Brasil na companhia dos seus pais, radicando-se na cidade do Rio de Janeiro. Fez seus primeiros estudos no Rio de Janeiro. A seguir entrou na

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ onde graduou-se em engenharia química em 1976. No período de 1976 a 1979 trabalhou como químico formulador de tintas na Química Industrial União. Foi pesquisador da área de corrosão e proteção anticorrosiva do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, de 1979 a 2013, quando se aposentou. Neste período desenvolveu projetos de pesquisa e desenvolvimento e realizou trabalhos de consultoria no âmbito das empresas do Setor Elétrico.

Como pesquisador do Laboratório de Corrosão do CEPEL, coordenou o grupo I da Rede PATINA, integrante do Projeto Iberoamericano de Corrosão y Tecnología para el Desarrollo - CYTED (Espanha).

Autor de mais de 130 trabalhos apresentados em Congressos e Seminários nacionais e internacionais; é um dos autores do livro PATINA - Proteção Anticorrosiva de Metais

na Atmosfera, editado pelo CYTED (Espanha); coautor do livro "Proteção Anticorrosiva de Metais na Atmosfera da Ibero América" e autor do livro Pintura Anticorrosiva - Falhas e Alterações nos Revestimento, publicado em 2016 pela Editora Interciência.

Membro de várias bancas de mestrado e de doutorado na COPPE-UFRJ; membro do Comitê Técnico de Congressos Internacionais; membro do SSPC (USA) - Steel Structures Painting Council e colaborador permanente da Revista Corrosão e Proteção de Materiais, de Portugal.

Recebeu 6 prêmios por trabalhos de pesquisa realizados em revestimentos anticorrosivos e, em 1999, o prêmio Retorta de Ouro, homenagem do Conselho Regional de Química - CRQ

e do Sindicato dos Químicos e Engenheiros Químicos do Estado do Rio de Janeiro.

Na Associação Brasileira de Corrosão participou da Diretoria por vários mandatos. Atua como Instrutor do curso de inspetores de pintura (N1 e N2 da ABNT NBR 15218) da ABRACO, desde 1987, inclusive quando era realizado no âmbito do convênio ABRACO/PETROBRAS. Em 1992 fez o Curso Inspetor de revestimentos (NACE-USA).

Atualmente o Prof. Fragata continua, para nossa satisfação, em plena atuação, dando cursos, consultorias e outras atividades e por tudo isto o Prof. Fragata é um grande exemplo para todos nós.

#### Referência

- Acervo da Biblioteca da ABRACO.

**RIO PIPELINE**  
CONFERENCE & EXHIBITION

Promoção e Organização:



## O evento que conecta oportunidades a você e ao seu negócio

A Rio Pipeline é o ponto de encontro da comunidade internacional de dutos no Brasil, reunindo em um único espaço conteúdo técnico de alta relevância, networking e ambiente de negócios.

### RESERVE SEU ESPAÇO | SEJA UM PATROCINADOR

Espaços diferenciados de acordo com o tamanho do seu negócio. E ainda: planos personalizados e condições especiais para cada categoria de patrocínio.

[riopipeline.com.br](http://riopipeline.com.br)



**03-05 Set | 2019**

Centro de Convenções SulAmérica - RJ | Brazil

Patrocínio Platinum



Patrocínio Bronze



Patrocínio Cobre



GRANDES NOMES DA CORROSÃO

## Prof. Segehal Matsumoto

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra



# Conceituadíssimo professor e profissional de empresas da pintura anticorrosiva no Brasil

O Eng. Segehal Matsumoto é um eminente professor, muito conceituado entre os alunos e um grande profissional de empresas produtoras de tintas industriais, estudioso da corrosão e da pintura anticorrosiva, com toda uma vida dedicada ao ensino e ao desenvolvimento do conhecimento, com uma inigualável capacidade de trabalho e de comunicação com os alunos. Tem sido um profissional motivador do interesse pela pintura anticorrosiva, tendo concebido e realizado inúmeros cursos em todo o Brasil e disponibilizado para a comunidade um grande acervo de experiências, merecendo destaque a sua participação como professor dos cursos de qualificação de inspetores da Associação Brasileira de Corrosão. A sua extrema capacidade de comunicação, trabalho e dedicação têm impactado profundamente nos conceitos e nos estudos da pintura anticorrosiva em nossa terra.

O Prof. Matsumoto nasceu na cidade de São Paulo, tendo feito os primeiros estudos nessa capital. A seguir graduou-se Químico

Industrial, Engenheiro Químico e Engenheiro de Segurança do Trabalho. Tornou-se especialista em pintura naval incluindo obras novas, reparos e manutenção de bordo; pintura industrial e offshore; pintura interna de tanques; inspeção, diagnóstico e levantamento de dados de pintura industrial.

É Instrutor da ABRACO, do Curso para Qualificação de Inspetor de Pintura Industrial - Níveis 1 e 2, desde 1986 (considerando preparação de superfície, aplicação de tintas, aulas práticas, interpretação de Normas Petrobras, ABNT, ISO, SSPC e NACE). Tem sido também professor dos cursos de formação de pintores e encarregado.

Possui uma vasta experiência profissional: trabalhou no Stoncor Group - Tintas Carboline - São Paulo/SP (1999-2001); atuou junto à empresa Tintas Renner S/A e na - Kansai Marine Paints - JP - Divisão de tintas marítimas e manutenção (1995-1999).

Atuou nas Tintas Internacional S/A - International Marine Coatings do Reino Unido - UK - Technical Service Manager (1978-1994); na Lithcote do Brasil S/A (revestimentos) - São Paulo/SP - Departamento Técnico - aplicador de revestimentos anticorrosivos (1971-1978).

Realizou muitas viagens de cunho técnico, por exemplo, em New Castle - na International Paint - UK - diversos treinamentos técnicos focados em pintura marítima; na Hyundai Shipyard - Coréia do Sul - Acompanhamento de docagem de embarcações; Cingapura - Treinamento para aplicação de Self Polish Copolymer, antifouling em fundo de embarcação; em Portugal no estaleiro Lisnave - Acompanhamento de docagem; em Hamburgo

- Alemanha no HDW -- Acompanhamento de docagem; em Houston - EUA - Treinamento para aplicação de tinta epoxy sem solvente com airless spray duplo com aquecimento; na Argentina - Estaleiro Tandonor (docagem) da Plataforma Henrique Mosconi (manutenção e blindagem da proteção catódica)

Atualmente o Prof. Matsumoto continua em plena atividade profissional, para nossa satisfação, em plena atuação, dando cursos, consultorias e outras atividades sendo uma referência na pintura anticorrosiva do Brasil.

### Referência

- Acervo da Biblioteca da ABRACO.

# ZINCOLIGAS

Indústria e Comércio Ltda.

## SOLUÇÕES EM PROTEÇÃO CATÓDICA

CATHODIC PROTECTION SOLUTIONS

- ANODOS GALVÂNICOS DE ALUMÍNIO, ZINCO E MAGNÉSIO;
- ANODOS DE Ti MMO;
- ANODOS DE Fe, Si, Cr;
- CANISTER COM MOINHA DE COQUE;
- ELETRODOS DE REFERÊNCIA;
- SISTEMAS COMPLETOS DE ICCP (ON SHORE E OFF SHORE);
- LEVANTAMENTOS DE CAMPO, ESTUDOS, DIMENSIONAMENTO, PEÇAS PARA TESTES;
- EFICIÊNCIA DA PROTEÇÃO CATÓDICA EM PROJETOS PRÓPRIOS E DE TERCEIROS COM SUPORTE TÉCNICO ON-LINE E FABRICAÇÃO DE MOLDES ESPECIAIS SOB MEDIDA.



Matriz SP: +55 (11) 4646-1210 | Filial SC: +55 (47) 3423-2456 | Filial RJ: +55 (24) 2252-6879  
zincoligas@zincoligas.com.br | www.zincoligas.com.br

# Avaliação da proteção catódica em corpos de prova de concreto com armadura em estado passivo e ativo de corrosão

Adriana de Araujo<sup>a</sup>, Juliana L. Cardoso<sup>b</sup>, José L. S. Ribeiro<sup>c</sup>, Thales G. Rosa<sup>d</sup>, Marcos V. S. Braga<sup>e</sup> e Zehbour Panossian<sup>f</sup>

**Abstract:** An important condition to be considered in the design of reinforced concrete structures in the marine environment is the corrosion of carbon steel reinforcement due to the presence of chloride ions. Among the several known ways to mitigate corrosion and to extend the service life of the structure, we have the technique of impressed current cathodic protection (PCCI) that is the subject of this article. The PCCI system operation, before and after the establishment of the corrosive process in the reinforcement of new structures, was simulated in specimens (CPs) submitted to cycles of contamination with saline solution. The results showed the need for periodic adjustments in the system to attend the established criteria. The system operation for the passive steel condition required a lower protection current density than the required to the operation after the establishment of the active state of corrosion.

**Keywords:** Corrosion. Monitoring. Accelerated corrosion test. Impressed current. Marine environment.

**Resumo:** Uma condição importante a ser considerada no projeto de estruturas de concreto armado em ambiente marinho é a corrosão das armaduras de aço-carbono induzida pelo ataque de íons cloreto. Dentre as diversas formas conhecidas para mitigar a corrosão e prolongar a vida útil da estrutura, tem-se a técnica de proteção catódica por corrente impressa (PCCI) que é tema deste artigo. A operação de sistema PCCI, antes e após o estabelecimento do processo corrosivo na armadura de estruturas novas, foi simulada em corpos de prova (CPs) submetidos a ciclos de contaminação com solução salina. Os resultados mostraram a necessidade de ajustes periódicos no sistema para manter o atendimento ao critério estabelecido. A operação do sistema para a condição de aço passivo exigiu uma densidade de corrente de proteção bem menor do que na proteção do aço em estado ativo.

**Palavras-chave:** Corrosão. Monitoramento. Ensaio acelerado de corrosão. Corrente impressa. ambiente marinho.

<sup>a</sup> Arquiteta/engenheira, Mestre em Habitação, Pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção (LCP) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (e-mail: aaraujo@ipt.br)

<sup>b</sup> Engenheira eletricista, Doutora em Ciências, Pesquisadora do LCP, Fundação de Apoio ao IPT - FIPT

<sup>c</sup> Engenheiro civil, Doutor em Engenharia Civil, Pesquisador visitante do IPT.

<sup>d</sup> Técnico em metalurgia, Técnico da FIPT

<sup>e</sup> Técnico em análises químicas, Técnico da FIPT

<sup>f</sup> Física, Doutora em Ciências, Diretora de Inovações - IPT

## Introdução

As estruturas de concreto armado em ambiente marinho estão sujeitas à redução da vida útil devido à corrosão induzida pelo ataque de íons cloreto. No meio alcalino do concreto, a presença dos íons cloreto, em teor crítico, desestabilizam o estado passivo decorrente da formação de um filme superficial que mantém a taxa de corrosão desprezível ( $\leq 0,1 \mu\text{m/ano}$ ) (Andrade e Alonso, 2004). A contaminação do concreto com esses íons ocorre frequentemente por meio da penetração da água do mar e de seus respingos e pela água pluvial e de condensação contaminadas com sais de cloreto depositados na superfície do concreto.

O processo de corrosão em concreto está fundamentado nos princípios da corrosão eletroquímica, em que o aço-carbono funciona como um eletrodo misto, sobre o qual ocorrem reações de oxirredução (reações anódicas e catódicas) e a água de poro é o eletrólito (Ahmad, 2003; Araujo e Panossian, 2016). Na presença de um teor crítico de íons cloreto, a corrosão ocorre de forma localizada, em que há a nucleação de pites na superfície do aço (Araujo e Panossian, 2016; Angst et al., 2009; Andrade e Alonso, 2004). A quebra do filme passivo indica o término do período de iniciação da corrosão, a partir do qual se inicia o período de propagação da corrosão (Cusson, Lounis e Daigle, 2011). Isso último se refere ao processo gradual de deterioração da estrutura até atingir um limite crítico que é estabelecido por diferentes critérios, como a restrição de uso ou risco à segurança dos usuários, elevado custo ou complexidade de intervenções ou, ainda, ruptura (parcial ou total) da estrutura.

Esses eventos são dependentes da taxa de corrosão da armadura e das medidas adotadas para o seu controle e para a reabilitação da estrutura. A taxa de corrosão da armadura depende fundamentalmente da presença de água e de oxigênio na superfície da armadura (Bertolini et al., 2004). Adicionalmente, depende da resistividade elétrica do concreto, composição e pH da solução dos poros e da diferença de potencial estabelecida entre o catodo e o anodo da célula

de corrosão, que no caso dos íons cloreto ocorre com formação de macrocélula (Laurens et al., 2016; Qian, Zhang e Qu, 2006; Bertolini et al., 2004; Elsener, 2002).

A corrosão na presença dos íons cloreto é um dos maiores problemas na durabilidade das construções civis em ambientes marinhos. A defasagem brasileira na aplicação de tecnologias já consagradas na proteção contra a corrosão é muito séria, visto que até países que não possuem centros de pesquisa fazem uso de técnicas alternativas de proteção. Como exemplo, cita-se a Guatemala, que usa proteção catódica em píeres de concreto armado (Maya et al., 2011). Portanto, a realização deste estudo e de outros quando aplicados nas condições brasileiras é de fundamental importância, tanto para conhecimento como para posterior divulgação das melhores alternativas de proteção aplicáveis ao nosso país.

São muitas as medidas protetivas que podem ser adotadas quando se deseja garantir ou aumentar durabilidade de uma estrutura de concreto armado (Markeset, Rostam e Klinghoffer, 2006; Bertolini et al., 2004; Palmer, 1998). Essas medidas podem ser divididas em quatro formas de controle da corrosão de metais, a saber:

- **Substituir o material metálico por outro tipo resistente à agressividade do meio ou que apresente taxa de corrosão pouco significativa:** adequado para estruturas a serem ainda construídas (estruturas novas) em que, em vez do aço-carbono, podem ser especificados materiais não metálicos ou aços mais resistentes à corrosão. No exterior, cita-se o uso de armaduras fabricadas em compósitos de fibra de vidro ou fibra de carbono em matriz polimérica (conhecida como *fiber reinforced polymer*), de aço ao cromo de baixo carbono (conhecido como *low-carbon, chromium*, contendo entre 2,0 % e 11 % de Cr), de aço inoxidável martensítico com adição de nitrogênio (MMFX<sup>(C)</sup>) e outros aços inoxidáveis austeníticos ou lean duplex, os quais vêm sendo aplicados em estruturas que requerem uma vida útil

próxima ou superior a 100 anos e ou com restrição de manutenção periódica e reparos de reabilitação. No caso desses reparos de reabilitação, o aço inoxidável é usado também, haja vista estudos mostraram que o par galvânico com o aço é pouco significativo;

- **Modificar o meio que o material metálico está exposto:** No caso de estruturas edificadas (estruturas existentes), pode ser feita a realcalinização ou extração de íons cloreto e, também, a impregnação da superfície do concreto com inibidor de corrosão (conhecido também como *migrating corrosion inhibitors*). No caso de estruturas novas, o uso do inibidor pode ser previsto na composição do concreto que também é melhorada para obter um concreto de alta qualidade que limite o acesso de substâncias potencialmente corrosivas às armaduras. Soma-se a essas medidas, a importância de uma correta execução e cura do concreto e o atendimento a espessura de revestimento da armadura, conforme diretrizes da ABNT NBR 6118:2014;
- **Interpor barreiras entre o meio e o metal:** Nas estruturas de concreto armado, pode-se utilizar armadura zincada por imersão a quente que atua como barreira entre o aço e o meio e, quando da exposição do aço, atua como anodo de sacrifício. Tem-se também a opção da pintura epoxídica do aço (conhecida como *fusion-bond epoxy*), podendo o revestimento ser dúplex (conhecido como *zinc and epoxy dual-coated*) em que é feita inicialmente uma aspersão térmica de zinco para atuar na proteção galvânica em áreas de falhas da pintura epoxídica. Cabe comentar que no Brasil tem-se o conhecimento do uso de armaduras zincadas em algumas obras, em destaque o Museu Iberê Camargo e o Museu de Arte do Rio e o Instituto Moreira Sales. É possível ainda a diminuição da permeabilidade superficial do concreto à gases e à água líquida por impregnação ou pintura, sendo este tipo de proteção a mais comum no Brasil em razão de fácil execução e ser mais viável economicamente em detrimento a outras técnicas;

- **Aplicar um potencial externo (proteção catódica):** No caso de estruturas de concreto armado, a proteção catódica consiste em mudar o potencial do sistema armadura/concreto em direção à região de imunidade do diagrama de Pourbaix (Araujo, Panossian e Lourenço, 2013; Baeckmann, Schwenk e Prinz, 1997).

Entre essas técnicas, destaca-se que a proteção catódica que é uma solução tecnicamente eficaz para evitar a deterioração prematura de estruturas de concreto em que se antevem problemas de durabilidade devido à agressividade do meio ambiente ou prolongar o tempo de vida útil de estruturas com problemas de durabilidade em razão de processo de deterioração decorrente da corrosão da armadura. Há duas técnicas tradicionais de proteção catódica: por corrente impressa (PCCI) e galvânica (PCG).

O sistema PCCI é uma medida protetiva eficiente na prevenção da corrosão das armaduras, tendo o objetivo principal de retardar a sua despassivação (Pedefferri, Bertolini e Bolzoni, 1994). O sistema PCCI é constituído de fonte de corrente contínua controlável, de anodo inerte que é inserido em frisos promovidos na superfície do concreto ou embutidos próximos à armadura, de eletrólito (solução dos poros do concreto) e de circuito de retorno da corrente que corresponde à armadura que se deseja proteger (Pedefferri, 1996). No caso do sistema PCG, o anodo é consumível (anodo de sacrifício) sendo este embutido junto à armadura, tendo terminais de conexão elétrica com a mesma (Lourenço e Souza, 2014). O anodo mais usual em estruturas de concreto utiliza pastilha em chapa ou malha de liga de zinco embutida em material cimentício de baixa resistividade elétrica.

O sistema PCCI é muito aplicado em estruturas novas em ambiente marinho, embora também seja usada com sucesso em estruturas existentes em que também pode ser aplicado sistema de reparo com uso de PCG. Segundo a norma DIN EN 12696 (2012), em estruturas existentes já debilitadas em razão do avanço do processo de corrosão, a proteção catódica tem o objetivo

de diminuir a taxa da corrosão em curso, sendo que, a sua aplicação em estruturas novas é aquela que apresenta custo menor de instalação e que deve apresentar melhor desempenho (Lourenço e Souza, 2014).

## Metodologia

No presente estudo, foram simuladas, por meio de ensaio acelerado de corrosão, duas condições de operação do sistema PCCI para estruturas novas: a ativação do sistema logo após a construção e a ativação do sistema somente após a contaminação do concreto e o estabelecimento de processo corrosivo. Na prática, têm-se ambas as opções, pois o período de tempo de contaminação do concreto (de boa qualidade) junto à armadura e o de estabelecimento de processo corrosivo é geralmente longo, o que possibilita que a operação do sistema PCCI não seja iniciada somente logo após construção e, sim, quando da verificação do avanço significativo do perfil de penetração dos íons cloreto ou quando do início do processo corrosivo em parte da estrutura.

O ensaio acelerado de corrosão foi conduzido em corpos de prova (CPs) armados submetidos à contaminação com solução salina com base na ASTM G109: 2013 e na ASTM A955: 2018b. Devido à natural heterogeneidade do concreto,

12 CPs foram produzidos para cada um dos dois lotes de CPs: o primeiro NPI-1 a NPI-12 e, o segundo, NPI-13 a NPI-24. A Figura 1 apresenta a concepção do CP (Figura 1a) e avaliação preliminar do sistema PCCI (Figura 1b). Na Figura 1a, observa-se que o CP é um bloco prismático (400 x 150 x 150 mm) com embutimento de três barras de aço-carbono – AC ( $\varnothing$  10 x 500 mm) com disposição triangular: uma na parte superior (B1) e duas na parte inferior (B2 e B3). A espessura de cobertura de B1 foi fixada em 20 mm, tendo sobre B1, a uma distância de 5 mm, uma fissura artificial (3 x 260 x 15 mm de profundidade) (Araujo et al., 2016b).

Observa-se ainda, o embutimento na parte superior do CP de duas fitas Ti/MMO (titânio coberto com uma mistura de óxidos de metais nobres) como anodo inerte (Araujo, Panossian e Lourenço, 2013). Adicionalmente, somente no primeiro lote, foi feito o embutimento de dois fios (ER1 abaixo de B1 e ER2 entre B2 e B3), também de Ti/MMO, para avaliar o seu uso como eletrodo de pseudorreferência (Araujo et al., 2017; Bertolini et al., 2009; Duffó, Farina e Giordano, 2009). O traço do concreto foi o seguinte: 420 kg/m<sup>3</sup> de cimento CP V ARI, 30 kg/m<sup>3</sup> de metacaulim, 225 kg/m<sup>3</sup> de areia de quartzo, 439 kg/m<sup>3</sup> de areia artificial, 924 kg/m<sup>3</sup> de brita 0 (4,8 mm a 9,5 mm), 0,65 L/m<sup>3</sup> de glenium e 225 kg/m<sup>3</sup> de água.

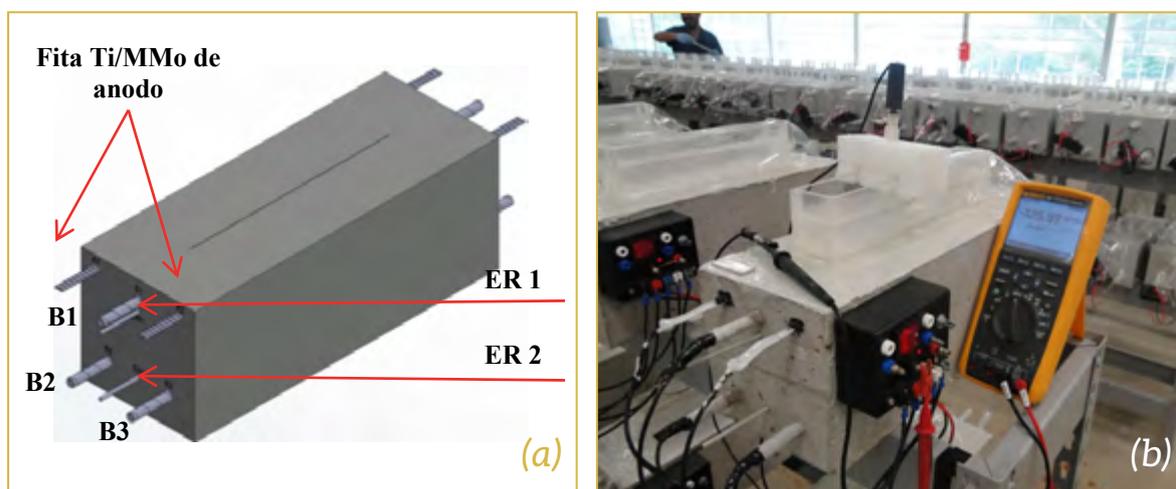


Figura 1. Concepção do corpo de prova de concreto armado fissurado e com anodos inertes e eletrodos de pseudorreferência (a) e Realização de medidas de monitoramento em um dos corpos de prova protegidos catodicamente (b).

Na Figura 1b, observa-se a avaliação preliminar do sistema PCCI em um CP, o que inclui o desenvolvido um dispositivo (caixa preta na figura) com potenciômetro e outros elementos onde foram feitas as conexões elétricas para o monitoramento individualizado. Nota-se que com esse sistema, pode ser usada uma única fonte de alimentação para os presentes ensaios e outros (PCs com reparo e sistema PCCI que não são abordados neste artigo). Para a medida dos potenciais, um eletrodo de referência externo Ag|AgCl|KCl 3 mol/L (EPCP) (Araujo et al., 2017) foi usado para ajustar e monitorar o sistema PCCI e determinar o potencial de circuito aberto (PCA) das barras dos CPs de referência em que a proteção catódica não foi aplicada. Nesses, um resistor de 100  $\Omega$  foi conectado entre B1 e B2/B3 curto-circuitadas para a determinação da carga (acumulada) passante das barras B2/B3 (catódicas) para a B1 (anódica) conforme indicado pela ASTM G109:2013.

O valor de PCA adotado foi o determinado após um período de 4 h de desconexão elétrica da barra B1 com as barras B2/B3 curto-circuitadas. Esse mesmo período foi adotado para a medida do potencial natural - PN (Araujo, Panossian e Lourenço, 2013) das barras dos CPs protegidas catodicamente. Antes da desconexão elétrica, foi medida a corrente circulante e o potencial de alimentação em cada CP. Após 5 s da desconexão, era feita a medida do potencial off e, após 4 h, a medida do PN. Adotou-se o critério de 100 mV (Araujo, Panossian e Lourenço, 2013) de proteção para a barra B1, que representa o trecho mais externo da armadura, o qual é mais suscetível à corrosão se comparado ao trecho mais interno. A maior suscetibilidade da barra B1 à corrosão em relação às barras B2/B3 se faz em razão de maior exposição a gases e a fluídos contaminados.

No primeiro lote (NPI-1 a NPI-12), a operação do sistema PCCI foi iniciada após o estabelecimento do processo corrosivo de B1. O objetivo foi simular o início da operação de sistema quando da verificação de processo corrosivo da armadura de novas estruturas. No segundo lote (NPI-13 a NPI-24), a operação do sistema foi iniciada

antes da corrosão da armadura. O objetivo era simular a proteção da estrutura de obras novas na condição de concreto não contaminado e armadura em estado passivo de corrosão.

Em cada lote, somente oito CPs (identificados com cor verde) foram destinados a receber a proteção catódica. Os quatro CPs restantes (identificados com cor vermelha) foram usados como referência, não sendo protegidos catodicamente. Inicialmente, os CPs foram expostos a ciclos com período de duas semanas de molhamento com solução simulada de água poro (adição de  $\text{Ca(OH)}_2$  em água destilada até obter pH 12,5), seguido de duas semanas de secagem natural. Após esses ciclos, a solução de água de poro foi substituída para solução salina NaCl 15 % (ASTM A955: 2018b), dando início a ciclos de contaminação/secagem. Em razão da alta agressividade dessa solução, esta foi posteriormente substituída por solução NaCl 3 % (ASTM G109: 2013). As soluções foram armazenadas (400 mL) em reservatório fixado sobre a fissura artificial por duas semanas, seguida da sua retirada e assim conservada por duas semanas para promover a secagem do concreto, compondo assim um ciclo.

## Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta o resultado do monitoramento dos potenciais da barra B1 dos CPs NPI-1 a NPI-12 com uso de eletrodo externo (EPCP). Os potenciais apresentados são o potencial de circuito aberto - PCA, e o potencial natural - PN (após 4 h de despolarização). O PCA foi medido entre o ciclo 2 e o 18 para CPs NPI-1 a NPI-8 (cor verde) e entre o ciclo 2 e o 29 para CPs NPI-9 a NPI-12 (cor vermelha). O PN foi medido entre os ciclos 20 e 29 para os de CPs NPI-1 a NPI-8 (cor verde) protegidos catodicamente. Nota-se que não constam os resultados do CP NPI-6, pois este foi excluído do ensaio devido a falhas no dispositivo elétrico de proteção catódica.

Como mostra a Figura 2, até o ciclo 8, os valores de PCA de B1 de todos os CPs se mantiveram elevados (valores mais positivos do que em torno de -150 mV), indicando estado passivo de corrosão (Araujo et al., 2017). Entre o ciclo 9 e

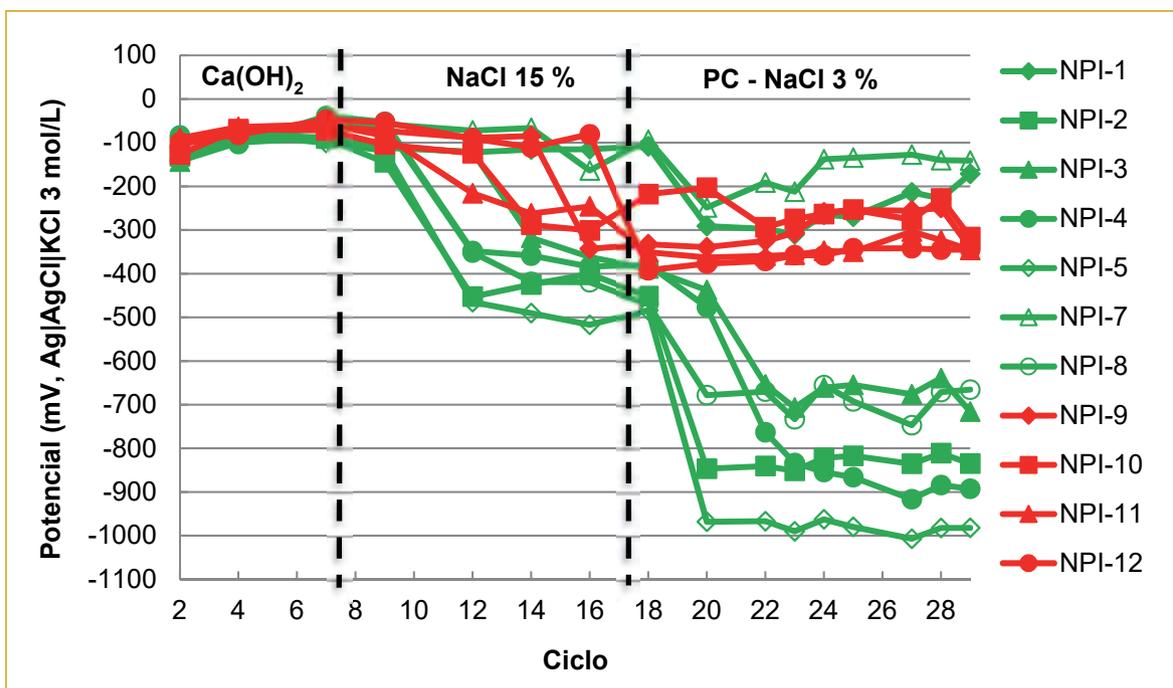


Figura 2. PCA (ciclo 2 a 29, cor vermelha e ciclo 2 a 18, cor verde) e PN (ciclo 20 a 29, cor verde) da barra B1 em relação ao eletrodo externo. Ciclos de molhamento  $\text{Ca(OH)}_2$ /secagem (ciclo 2 a 8), de contaminação NaCl 15%/secagem (ciclo 9 a 18) e de contaminação NaCl 3%/secagem com operação do sistema PC (ciclo 19 a 29).

o 18, ocorreu a diminuição dos valores de PCA de B1 (valores mais negativos que em torno de -230 mV), indicando 90 % de probabilidade de corrosão (Araujo et al., 2017). As exceções foram os CPs NPI-1 e NPI-7, em que os valores ainda indicaram estado passivo. Após o ciclo 18, os valores de PCA dos CPs não protegidos catodicamente indicaram a manutenção do estado ativo de B1. No caso dos CPs protegidos catodicamente, os valores de PN foram bem mais eletronegativos do que os de PCA, indicando a polarização de B1 no sentido catódico. Embora não seja apresentado, o comportamento das barras com uso dos eletrodos internos (ER1 e ER2, ambos de Ti/MMO) foi similar ao verificado com eletrodo EPCP, mostrando sua adequação em monitoramento. Os valores de carga acumulada de B1 curto-circuitada com B2/B3 mostrou que a maioria dos CPs apresentou valores positivos de dezenas ou centenas de coulombs, confirmando o estado ativo de corrosão de B1. A exceção foram os CPs NPI-1 e NPI-7 em que a carga acumulada foi praticamente desprezível até o ciclo 18, o que era esperado em razão

da manutenção do estado passivo. Sem considerar esses dois CPs, observa-se que até o ciclo 18 a carga acumulada dos CPs a serem protegidos catodicamente (cor verde) foi maior do que os CPs de referência (cor vermelha). Após o ciclo 18, somente foi monitorada a carga dos CPs não protegidos catodicamente. Para esses CPs, ocorreu um aumento de carga ao longo do tempo, indicando o avanço da corrosão, no entanto, com corrosão menos intensa do que a dos CPs NPI-02, NPI-04, NPI-05 e NPI-08 até o ciclo 18.

O exame visual, a vista desarmada, mostrou que a corrosão se limitava ao semicírculo superior de B1, voltado para o concreto de cobertura fissurado. Considerando as dimensões das áreas corroídas, esta foi mais intensa na B1 do CP NPI-05 e praticamente desprezível (corrosão junto somente a algumas nervuras) dos CPs NPI-01 e NPI-07. Para esses dois últimos CPs, esse resultado era esperado em razão da carga acumulada obtida também ser considerada desprezível. Sem considerar os CPs NPI-01 e NPI-07, observou-se que as áreas de corrosão eram menores nas barras B1 dos CPs de referência

do que nas barras dos CPs que foram posteriormente protegidas catódicamente. Isso também era esperado em razão da menor carga acumulada para esses CPs.

A Figura 3 apresenta gráfico do módulo da diferença de potencial ( $\Delta V$ ) entre o valor medido após 5 s e 4 h (PN) do desligamento do sistema de proteção catódica. A proteção atende ao critério de 100 mV quando o valor de  $\Delta V$  é  $\geq 100$  mV. Pode-se verificar que, em geral, todos os CPs atenderam ao referido critério. Esse atendimento exigiu reajustes periódicos no potenciômetro do dispositivo de cada CP e na fonte de energia que alimentava todos os CPs. A Figura 4 apresenta a densidade de corrente de proteção catódica aplicada em cada B1.

Pela Figura 3, observa-se que a maioria dos CPs atendeu o critério de 100 mV de proteção de B1 ao longo do ensaio. A exceção foi o CP NPI-05 que manteve ao longo do ensaio valor um pouco mais baixo do mínimo exigido (valor final de 83 mV). Pela Figura 4, observa-se que para esse CP a densidade de corrente de proteção foi sendo elevada ao longo do ensaio (valor final de  $66 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ). Cabe considerar que a corrosão

altera as condições da interface barra/ concreto, o que exige uma maior densidade de proteção em relação à barra passivada, assim como foi observado para o CP NPI-05. A extensão da área corroída, a quantidade de produtos de corrosão na interface aço/concreto e sua ação na colmatação dos poros são alguns dos fatores decisivos na densidade de corrente requerida para o atendimento ao critério de 100 mV. Isso é reforçado pelos resultados obtidos para os CPs NPI-01 e NPI-07 que apresentaram corrosão incipiente ao término do ensaio e, deste modo, as características da interface B1/concreto foram praticamente preservadas.

A Figura 5 apresenta o gráfico de monitoramento dos potenciais da barra B1 dos CPs NPI-13 a NPI-24 com uso de eletrodo externo. Observa-se que, até o ciclo 8, os valores de PCA de B1 dos CPs de referência (NPI-21 a NPI-24, cor vermelha), se mantiveram elevados (valores mais positivos do que em torno de -150 mV), indicando estado passivo. Entre os ciclos 9 e 18, ocorreu a diminuição dos valores de PCA de B1 da maioria desses CPs (valores mais negativos que em torno -230 mV), indicando

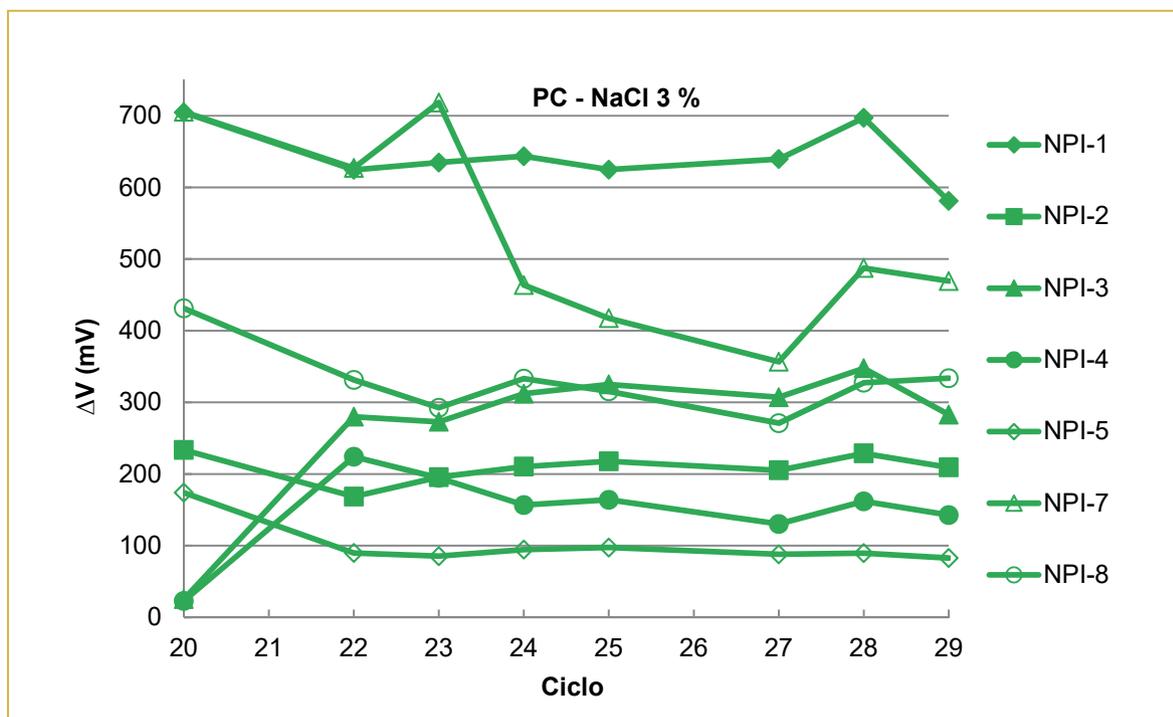


Figura 3. Monitoramento do atendimento ao critério de 100 mV da barra B1.

estado ativo de corrosão. Esse estado se manteve durante os ciclos posteriores (entre o ciclo 19 e o 29). A exceção foi o CP NPI-22 que manteve o estado passivo durante a maioria desses ciclos, assumindo valor indicativo de estado ativo somente próximo do término do ensaio (ciclo 26). Para os CPs NPI-13 a NPI-20, os valores de PN de todas B1 indicaram a efetividade da proteção catódica até o ciclo 18, a partir do qual a solução NaCl 15 % foi substituída por NaCl 3 % e feitos ajustes periódicos no sistema de alimentação. Cita-se que, antes do ciclo 18, só foi feito ajuste no ciclo 8 quando do início dos ciclos de contaminação.

Tanto a substituição da solução, como o ajuste do sistema após o ciclo 18, foi feito em razão de B1 dos CPs NPI-15, NPI-17 e NPI-18 apresentar tendência de diminuição (valores mais negativos do que -350 mV), indicando estado ativo de corrosão. Esse estado foi atribuído ao não ajuste na densidade de corrente de proteção associado ao aumento gradual da contaminação do concreto de cobrimento de B1 ao longo dos ciclos.

Observa-se pela Figura 5 que os valores de PN dos CPs NPI-15, NPI-17 e NPI-18 se elevaram

após o início de ajustes, sendo mantidos valores bem mais negativos do que os indicativos de corrosão em curso obtidos no ciclo 18. Os valores de carga acumulada obtidas ao longo do ensaio confirmaram os resultados de potencial, bem como o exame visual a vista desarmada mostrou a corrosão das barras B1. Considerando as dimensões das áreas corroídas, a corrosão de B1 foi pouco significativa nos CPs de referência NPI-20, NPI-21 e NPI-24. No CP NPI-23, também de referência, a corrosão foi intensa. Para os CPs protegidos catodicamente, os CPs NPI-13, NPI-16 e NPI-19 apresentaram corrosão incipiente e os CPs NPI-15, NPI-17 e NPI-18 apresentaram área localizada de corrosão, sendo mais intensa no CPI-17.

A Figura 6 apresenta gráfico do módulo da diferença de potencial ( $\Delta V$ ) e, a Figura 7, a densidade de corrente de proteção. Observa-se que os valores  $\Delta V$  oscilaram bastante, com aumento significativo no ciclo 20 devido ao início do ajuste periódico no sistema, com aumento da densidade de corrente (Figura 7). Esse ajuste foi feito em razão da ineficiência da proteção dos CPs NPI-15, NPI-17 e NPI-18. Pela Figura 7,

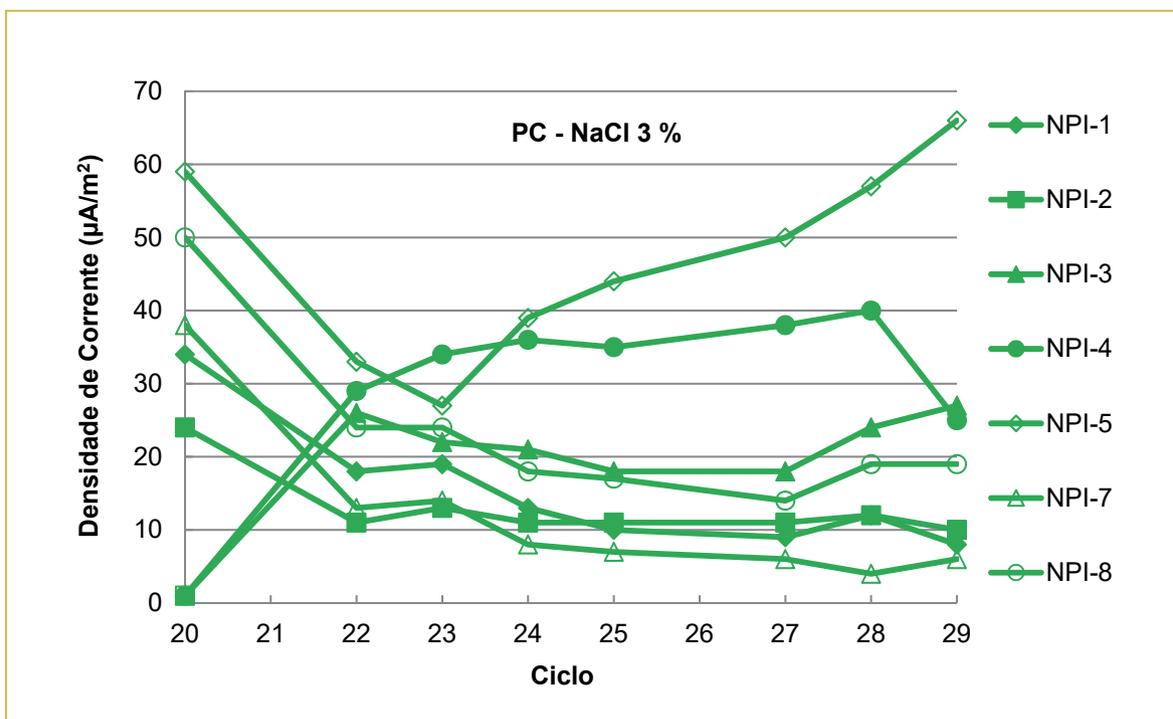


Figura 4. Densidade de corrente de proteção catódica da barra B1.

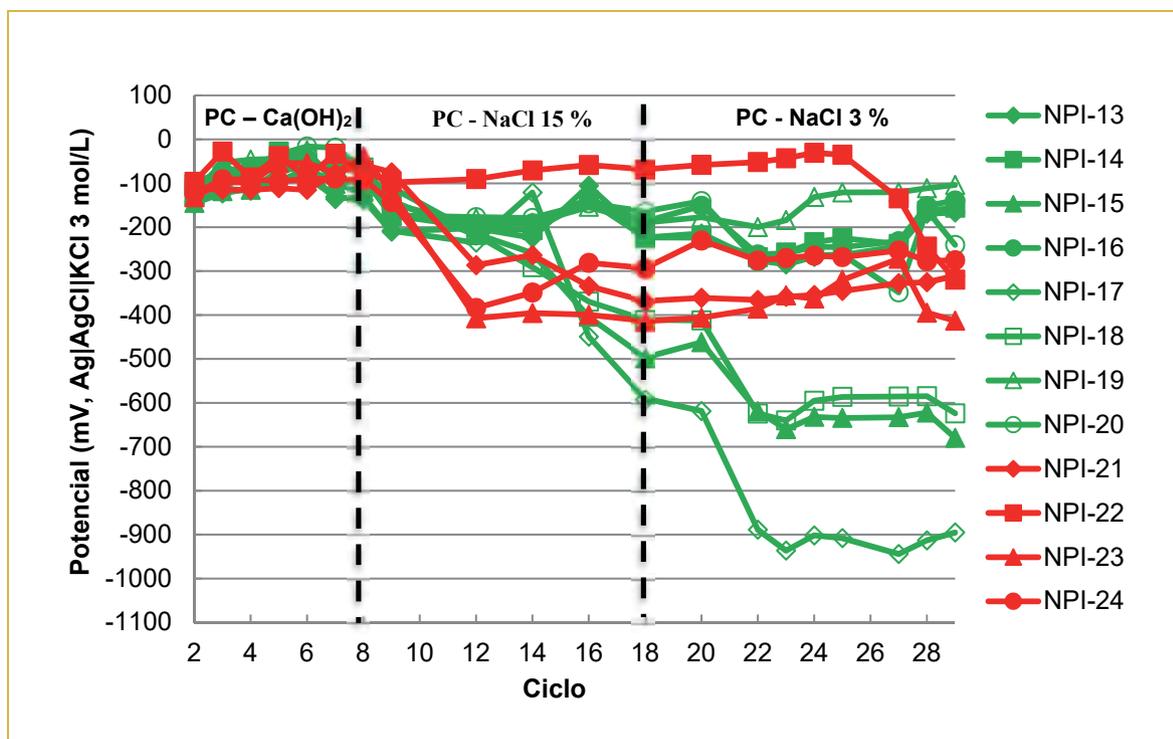


Figura 5. PCA (ciclo 2 a 29, cor vermelha) e PN (ciclo 2 a 29, cor verde) da barra B1 em relação ao eletrodo externo. Ciclos de molhamento  $\text{Ca(OH)}_2$ /secagem (ciclo 2 a 8), de contaminação NaCl 15%/secagem (ciclo 9 a 18) e de contaminação NaCl 3%/secagem (ciclo 19 a 29).

observa-se que no ciclo 18 os valores obtidos para esses três CPs foram bem abaixo do mínimo exigido de 100 mV. Ao término do ensaio, verificou-se que era necessária uma densidade muito baixa, em torno de  $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , para garantir o atendimento ao critério. A exceção foi o CP NPI-17, que requereu maior densidade, valor próximo de  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , para atender o critério de 100 mV (valor final de 135 mV). Isso era esperado em razão do exame visual da barra B1 dos CP com proteção catódica ter mostrado que a corrosão da B1 desse era mais intensa do que dos demais.

## Conclusão

Os ensaios possibilitaram verificar a efetividade da proteção catódica tanto na condição de início da operação após a contaminação do concreto com íons cloreto e o estabelecimento do processo corrosivo do aço-carbono (CPs NPI-01 a NPI-12) como também na condição do início da operação na condição de concreto não

contaminado e aço em estado passivo (CPs NPI-13 a NPI-24). Na prática, a primeira condição seria aquela em que o sistema de proteção catódica seria contemplado no projeto da estrutura, no entanto, o início da operação do sistema de proteção (o que inclui a instalação dos retificadores etc) ocorreria no futuro, com a armadura em estado ativo de corrosão, enquanto, na segunda condição, isso ocorreria logo após a construção da estrutura, com a armadura em estado passivo.

De modo geral, os ensaios indicam a eficiência das duas condições, embora, tenha sido verificado que, no caso da adoção da primeira condição, o atendimento ao critério normalizado de 100 mV do (módulo da diferença de potencial off após 5 s e 4 h do desligamento do sistema de proteção ( $\Delta V$ )) deve exigir uma maior densidade de corrente de proteção, devendo esta ser maior quando maior for o nível de contaminação do concreto com íons cloreto e o nível de alterações da sua interface com a armadura

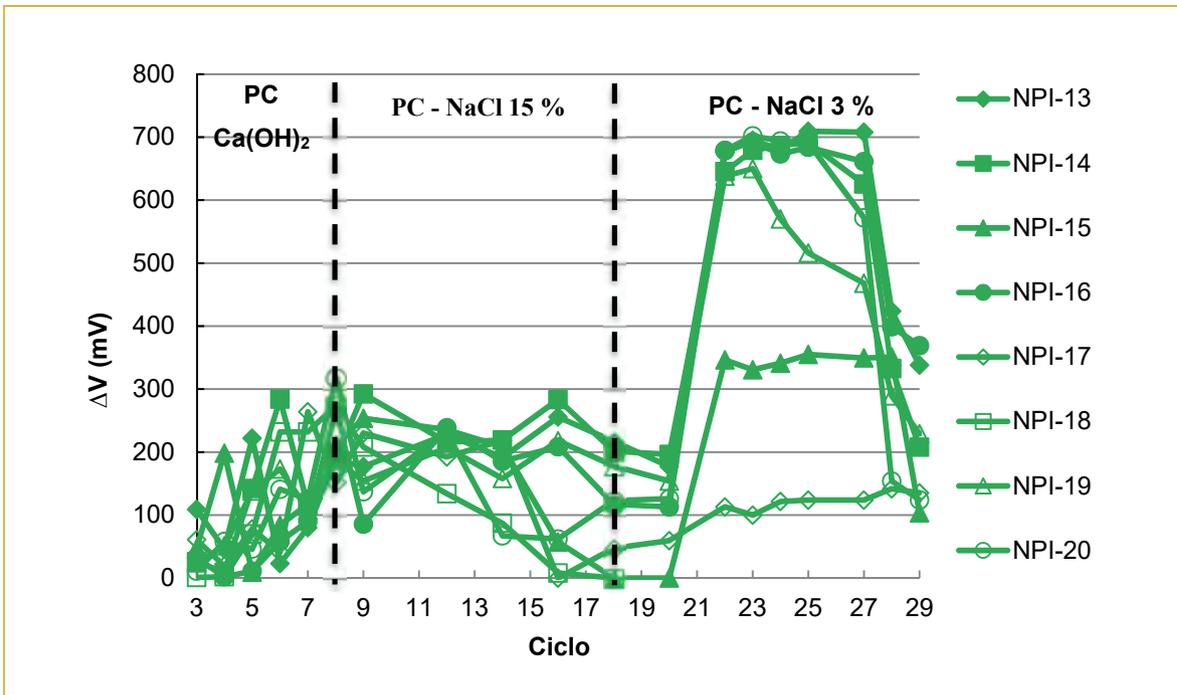


Figura 6. Monitoramento do atendimento ao critério de 100 mV da barra B1.

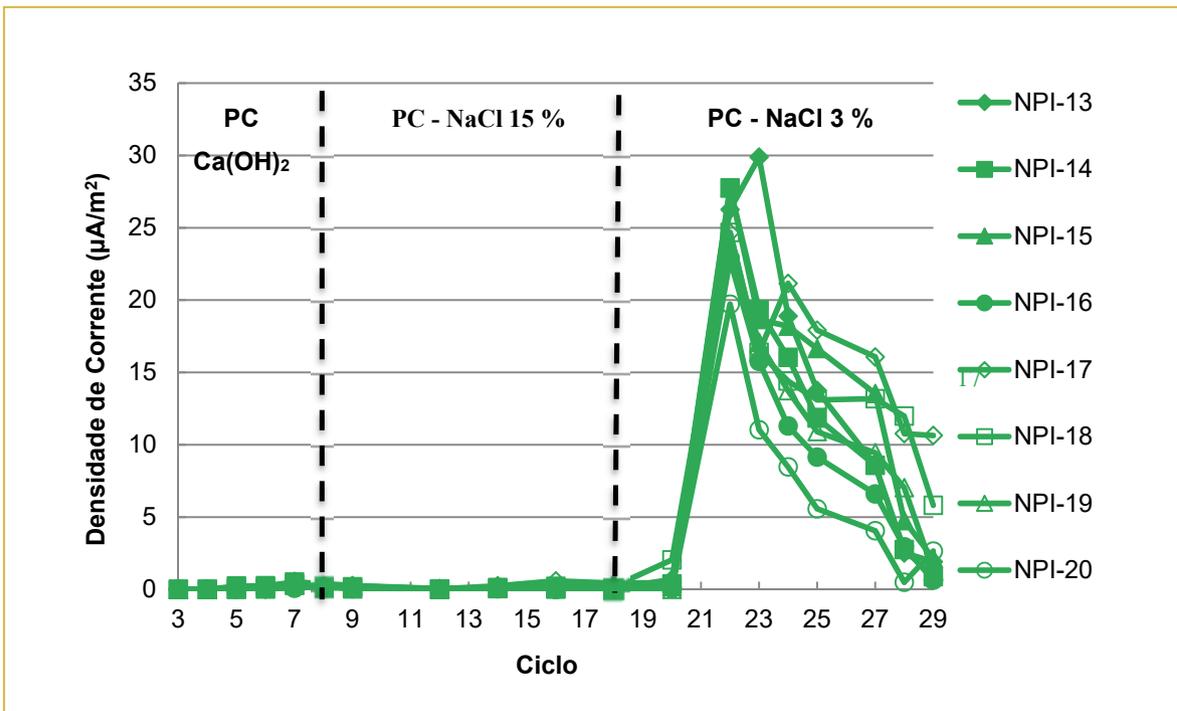


Figura 7. Densidade de corrente de proteção catódica da barra B1.

corroída. Verificou-se, em ambos os ensaios, que são necessários ajustes periódicos da corrente de alimentação do sistema para manter a proteção. Esse ocorrido indica a importância, na prática, de ter sistemas independentes para condições diferenciadas da superfície metálica e de sua interface com o concreto, as quais tem relação com as condições de exposição aos íons cloreto e a umidade. Cabe considerar que a adoção de mais de um sistema evita o consumo de energia além da necessária e, ainda, riscos de imposição de correntes de proteção muito elevadas, que podem resultar na acidificação do concreto no entorno do anodo, na promoção de reações alcali-agregados, na danificação por hidrogênio para aço de alta resistência e da redução da aderência entre armadura/concreto (Bertolini et al., 2004). Ressalta-se que essa diferença de nível de polarização entre sistemas independentes pode resultar na formação de macrocélula de corrosão, a qual também pode afetar as medidas de potencial de decaimento (PN) (Bertolini et al, 2004).

O exposto indica a importância, na prática, que tanto a instalação como o monitoramento do sistema de proteção catódica devem ser realizados por empresas especializadas, se possível, sob a supervisão de especialistas na área de proteção catódica. Para esse monitoramento, cabe considerar o possível uso de fio de Ti/MMO como eletrodo pseudoreferência de embutimento no concreto, o que foi verificado em ensaios não apresentados neste artigo, além dos usuais eletrodos de referência disponíveis no mercado.

Para cada um das condições de ensaio, podem ser ressaltados os seguintes pontos mais importantes observados:

#### **Proteção catódica em concreto contaminado com íons cloreto e armadura em estado ativo de corrosão (CPs NPI-01 a NPI-12):**

No início dos ensaios, os valores de PCA responderam aos obtidos de carga acumulada, ambos indicando um processo corrosivo em curso na maioria das barras B1 antes da operação do sistema de proteção catódica. A exceção foi a barra B1 dos CPs NPI-01 e NPI-07

que manteve o estado passivo até quando do início da operação do sistema de proteção catódica. Para esse estado, os valores do módulo da diferença de potencial ( $\Delta V$ ) se mantiveram bem mais elevados ao longo dos ensaios (valor final em torno de 500 mV) em relação aos demais CPs com corrosão em curso. O mesmo ocorreu com o valor do potencial após 4 h do desligamento do sistema (PN) que foi bem menos eletronegativo, sendo os mais próximos do potencial de circuito aberto (PCA) obtido antes do início da operação do sistema.

Para os demais CPs, a grande maioria dos valores obtidos de  $\Delta V$  ao longo do ensaio atendeu o critério normalizado exigido de  $\Delta V \geq 100$  mV (valor final entre em torno de 150 mV a 300 mV). A exceção foi o CPI-05 em que os valores ao longo do ensaio se mantiveram um pouco abaixo de critério de 100 mV (valor final de 83 mV). Isso ocorreu a despeito da realização de ajustes periódicos do sistema de proteção catódica para aumento da densidade de corrente de proteção. Com isso, o valor final de densidade de corrente do CPI-05 ( $65 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) foi bem superior aos obtidos para os demais CPs (valor final entre em torno de  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  a  $25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ), sendo que, os menores valores finais foram obtidos para os mencionados CPI-01 e CPI-07 (em torno de  $7 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ). Ressalta-se que os ajustes periódicos do sistema de proteção afetavam todos os CPs, devido ao uso de uma única fonte de alimentação. Cabe considerar que esses ajustes também foram necessários para a proteção catódica de outros ensaios que não são apresentados neste artigo.

O exame visual das barras B1, após o rompimento dos CPs ao término dos ensaios, permitiu confirmar que a condição superficial da do CPs NPI-01 e NPI-07 era realmente diferenciada dos demais CPs, dos quais se destacou o mencionado CPI-05. Para esse CP, a corrosão da barra B1 foi intensa, o que já tinha sido indicada tanto pela carga acumulada extremamente elevada obtida antes do início da operação do sistema de proteção catódica como pela gradual aumento da densidade de corrente de proteção na tentativa de atingir o critério de 100 mV.

### **Proteção catódica em concreto não contaminado com íons cloreto e armadura (barra B1) em estado passivo (CPs NPI-013 a NPI-24):**

No início dos ensaios, os valores de PN dos CPs protegidos catodicamente indicaram a efetividade da proteção da barra B1, sendo atendido o critério de 100 mV. Nos CPs de referência (sem proteção), os valores de PCA corresponderam aos obtidos de carga acumulada, indicando o estado passivo e, posterior estabelecimento de processo corrosivo da maioria das barras B1 destes CPs. Esse processo também ocorre em algumas barras B1 dos CPs protegidos catodicamente, o que foi indicado pelo abaixamento dos valores de PN, sem que tenha sido feito ajustes da corrente de proteção. Com esse ocorrido, ajustes periódicos foram necessários para a efetiva proteção catódica desses e demais CPs.

As medidas regulares de monitoramento confirmaram a efetividade desses ajustes na polarização catódica dos CPs, sendo mantidos valores de PN bem mais eletronegativos do que os valores iniciais de PCA dos CPs de referência em estado passivo. Além disso, o exame visual das barras B1 ao término do ensaio mostrou que a corrosão foi significativa em alguns CPs de referência e naqueles CPs em que ocorreu falhas de proteção catódica e que implicam no mencionado início de ajustes periódicos no sistema de alimentação da corrente de proteção. No entanto, em razão do uso de uma única ponte de alimentação de todos em ensaios em curso de proteção catódica, acabou sendo aplicada aos CPs uma densidade de corrente muito elevada, a qual resultou em valores de  $\Delta V$  bem superiores ao mínimo exigido de 100 mV.

Nos posteriores ajustes do sistema foi possível diminuir a densidade de corrente de proteção dos CPs o que permitiu verificar que para atender o critério de 100 mV era necessária uma densidade de corrente de proteção muito mais baixa do que as aplicadas anteriormente (valor final em torno de  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  a  $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ). A maior densidade de corrente (em torno de  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) foi obtida para a barra B1 do CP que apresentou corrosão mais

intensa, sendo esta uma daquelas em que se obtiveram os menores valores de  $\Delta V$  (em torno de 100 mV a 120 mV). As barras em melhor estado, em que se observaram somente algumas manchas de corrosão em algumas nervuras, indicando uma corrosão incipiente, obteve-se os maiores valores de  $\Delta V$  (em torno de 400 mV). Para essas barras, a densidade de corrente requerido foram as mais baixas (valor final entre em torno de  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  a  $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ).

### **Referências bibliográficas**

- ANDRADE, C., ALONSO, C. RILEM TC 154-EMC Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*, v. 37 p.623-643, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A955: standard specification for deformed and plain stainless-steel bars for concrete reinforcement. Philadelphia, 2018b. 14 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G109: standard test method for determining effects of chemical admixtures on corrosion of embedded steel reinforcement in concrete exposed to chloride environments. Philadelphia, 2013. 6 p.
- ANGST, U., ELSENER, B.; LARSEN, C. K.; VENNESLAND, Ø. Critical chloride content in reinforced concrete: a review. *Cement and Concrete Research*, v. 39, p. 1122-1138, 2009.
- ARAUJO, A et al. Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: potencial de eletrodo e densidade de corrente elétrica. *Téchne*, v. 247, p. 29-39, 2017.
- ARAUJO, A., et al. Definição e preparação de corpos de prova de concreto armado destinados a ensaios acelerados de corrosão de armaduras. *Revista IPT - Tecnologia e Inovação*, v. 1, n. 3, p. 41-62, 2016b.
- ARAUJO, A., PANOSSIAN, Z. Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: passivação e corrosão. *Téchne*, v. 236, p. 46-51, 2016.
- ARAUJO, A., PANOSSIAN., LOURENÇO. Cathodic protection for concrete structures. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v.6, p.178 - 193, 2013.
- BAECKMANN, W. V.; SCHWENK, W.; PRINZ, W. Handbook of cathodic corrosion protection: theory and practice of electrochemical protection processes. 3ª. ed., Elsevier Science, 1997.
- BERTOLINI, L., BOLZONI, F., GASTALDI, M., PASTORE, T., PEDEFERRI, P., REDAELLI, E. Effects of cathodic prevention on the chloride threshold for steel corrosion in concrete. *Electrochemical Acta*, v. 54, p. 1452-1463, 2009.
- BERTOLINI, L., ELSENER, B., PEDEFERRI, P., POLDER, R. Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair. Wiley- Wiley-VCH Verlag gmbh & Co. KGaA, 2004.
- BROOMFIELD, J. B. Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair. 2.ed. London: E & FN Spon, 2007.
- CUSSON, D.; LOUNIS, Z. ; DAIGLE, L. Durability monitoring for improved service life predictions of concrete bridge decks in corrosive environments. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 26, p. 524-541, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN EN 12696: cathodic protection of steel in concrete. Brussels, 2012. 38 p.

DUFFÓ, G. S., FARINA, S. B., GIORDANO, C. M. Characterization of solid embeddable reference electrodes for corrosion monitoring in reinforced concrete structures. *Electrochemical Acta*, v. 54, p. 1010-1020, 2009.

ELSENER, B. Macrocell corrosion of steel in concrete: implications for corrosion monitoring, *Cement and Concrete Composites*, v. 24, p. 65-72, 2002.

LAURENS, S. et al. Steady-state polarization response of chloride-induced macrocell corrosion systems in steel reinforced concrete - numerical and experimental investigations. *Cement and Concrete Research*, v. 79, p. 272-290, 2016.

LOURENÇO, Z., SOUSA, C. A. C. Métodos de proteção e aumento da durabilidade do concreto armado. In: RIBEIRO, D. V. *Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 129-137.

MAYA, E. et al. Inspection, Diagnosis, Materials And Processing Methods To Repair The Commercial Deck In Puerto Quetzal Guatemala. *CORROSION*, Houston, p. 6, Março 2011.

MARKESSET, G.; ROSTAM, S.; KLINGHOFFER, O. Guide for the use of stainless steel reinforcement in concrete structures. BYGGFORSK - Norwegian Building Research Institute, p. 68, 2006. Disponível em <[http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrop\\_p\\_20405.pdf](http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prrop_p_20405.pdf)> Acesso em 15 mar. 2014.

PALMER, R. New reinforced concrete: upgrading and maintaining durability by cathodic protection In: Chess, Paul (Ed.). *Cathodic protection of steel in concrete*. London: E & FN Spon, 1998. p. 134-153.

PEDEFERRI, P. Cathodic protection and cathodic prevention. *Construction and Building Materials*, v. 10, n. 5, p. 391-402, 1996.

PEDEFERRI, P., BERTOLINI, L., BOLZONI, F. Protección y prevención catódica de las armaduras en las construcciones de hormigón armado y pretensado. *Hormigón y Acero*, n. 193, p. 73-116, 1994.

QIAN, S.; ZHANG, J.; QU, D. Theoretical and experimental study of microcell and macrocell corrosion in patch repairs of concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, v. 28, p. 685-95, 2006.

# PINTURAS ANTICORROSIVAS: ENSAIOS DE IMERSÃO EM LABORATÓRIO

## Celso Gnecco

Gerente – Treinamento Técnico / Empresa: Sherwin Williams  
celso@sherwin.com.br

## Daniella Sato

Gerente de Produtos P&M / Empresa: Sherwin Williams  
daniella.sato@sherwin.com.br

## Abstract

This text covers the main immersion tests that are performed in laboratories to evaluate anticorrosive coatings. Since ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) does not have standards for the immersion test, Brazilian tests are based on international standards such as ASTM, ISO and NACE. The standards mentioned are:

Standard	Environment	Type
ASTM D 870	Water	Imersion
ASTM D 1141	Ocean water	Solution preparation
ASTM D 1308	Chemicals	Spot, Imersion
ASTM C 868	Chemicals	Atlas Cell (withdrawn)
ASTM D 6943	Chemicals	Imersion, Atlas Cell, Autoclave
ASTM G8	Chemicals	Cathodic Disbondment
ISO 2812	Water/ Chemicals	Imersion, Spot, Temperature gradient
NACE TM0174	Chemicals	Atlas Cell
NACE TM0185	Chemicals	Autoclave

## Resumo

Este artigo aborda os principais ensaios de imersão que são realizados em laboratórios para avaliação de revestimentos anticorrosivos. Como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) não dispõe de normas para o ensaio de imersão, os ensaios no Brasil são baseados em normas Internacionais como a ASTM, ISO e NACE. As normas mencionadas são:

Norma	Meio	Tipo
ASTM D 870	Água	Imersão
ASTM D 1141	Água do mar	Preparação da solução
ASTM D 1308	Químicos	Spot, Imersão
ASTM C 868	Químicos	Célula Atlas (cancelada e substituída)
ASTM D 6943	Químicos	Imersão, Célula Atlas, Autoclave
ASTM G8	Químicos	Descolamento Catódico
ISO 2812	Água/ Químicos	Imersão, Spot, Gradiente Temperatura
NACE TM0174	Químicos	Célula Atlas
NACE TM0185	Químicos	Autoclave

**Palavras-chave:** Ensaios de imersão em líquidos

## Introdução

Os sistemas de pintura são frequentemente expostos durante sua vida útil a diversos tipos de fluidos sob diversas condições do meio. Alguns testes de laboratório são realizados para simular essas condições de exposição de maneira acelerada.

Tais condições possuem metodologia de ensaios baseados em normas técnicas ASTM, NACE e ISO e são especificadas em normas de diversos clientes de tinta de manutenção industrial e marítimo, entre eles a PETROBRAS (Conforme Anexo).

A metodologia das normas abordadas tem a intenção de avaliar em laboratório, com condições padronizadas e controladas o comportamento de determinados sistemas de pintura sob efeito de fluidos específicos.

### ASTM D 870 - Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion

A norma ASTM D 870 abrange os princípios básicos e procedimentos operacionais para teste de resistência à água (destilada ou desmineralizada) de revestimentos pela imersão parcial ou total de corpos de prova revestidos. A norma não especifica preparação das amostras, condições específicas de teste ou avaliação dos resultados.

Os parâmetros principais do teste são: temperatura da água e tempo de duração do teste.

Alguns cuidados que devem ser observados são:

- Substituição da água quando ocorrer alteração de cor ou turbidez;
- Condutividade máxima da água é de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20°C (resistividade inferior a 50  $\text{k}\Omega/\text{cm}$ );
- Avaliação das amostras deve ser feita entre 5 e 10 minutos após a remoção do teste.

O intuito principal do teste é avaliar qual o tipo de degradação que a água pode causar no revestimento, além de ser utilizado como ferramenta do laboratório de desenvolvimento para

especificação e para controle de fabricação. É importante ressaltar que testes de imersão em água de acordo com esta prática não devem ser representados como sendo equivalentes a um período de exposição à água no ambiente natural.

### ASTM D 1141 Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water

A norma ASTM D 1141 não se trata de um procedimento para a imersão, mas abrange a preparação de soluções que representam a água do mar para a utilização em testes de laboratório.

Devido a falta de matéria orgânica, matéria em suspensão e vida marinha nesta solução os resultados de teste não são representativos em relação ao desempenho real da água de oceano, principalmente para testes de corrosão que envolvem os efeitos de velocidade, atmosferas salinas, ou os componentes orgânicos.

### ASTM D 1308 - Standard Test Method for Effect of Household Chemicals on Clear and Pigmented Organic Finishes

A norma ASTM D 1308 apresenta três metodologias para verificar a resistência ao efeito de produtos químicos domésticos em vernizes ou acabamentos orgânicos pigmentados.

A escolha do reagente depende do uso final do revestimento e do acordo entre as partes interessadas do sistema a ser testado. Alguns reagentes são sugeridos:

- água destilada fria
- água destilada quente
- álcool etílico (50% em volume)
- vinagre (ácido acético a 3%)
- solução alcalina
- solução ácida
- solução de sabão
- detergente

- fluidos de isqueiro e outros reagentes voláteis
- frutas - pedaço de fruta cortada, colocadas viradas para baixo no painel
- óleos e gorduras, manteiga, margarina, banha, gordura, óleos vegetais, etc.
- condimentos - mostarda, ketchup
- bebidas – café, chá, chocolate
- óleos e graxas de lubrificação
- outros reagentes, conforme acordado entre o comprador e o vendedor

Alguns cuidados que devem ser observados são:

- Manter as seguintes condições acordadas entre as partes ou temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $50 \pm 5\%$ .
- Realizar o teste após cura total do sistema, conforme indicado pelo fabricante da tinta.

### Spot teste, coberto

Consiste em pipetar um dos reagentes sobre o painel com o sistema aplicado na horizontal e cobrir imediatamente com um vidro de relógio. Após o intervalo acordado entre as partes interessadas, limpar o local e examinar imediatamente a película e/ou examinar a recuperação das propriedades dela. A Figura 1 apresenta o esquema da metodologia.

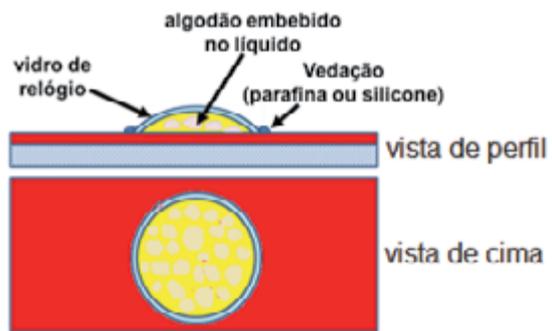


Figura 1 - Desenho esquemático do método Spot test coberto

Uma forma bastante prática de se realizar o spot teste coberto é através de um tubo de vidro fortemente apertado contra a superfície pintada. A vedação é feita com borracha nitrilica ou adesivo de silicone ou com fita vedante de teflon (veda-rosca), como pode ser observado na Figura 2. A área imersa é um círculo. Desta forma, economiza-se o fluido, pois pequenas quantidades são suficientes para o ensaio, além de se evitar a penetração pelas bordas das placas, que são regiões nas quais a pintura se apresenta com menor espessura por causa da “fuga de borda”.

### Spot teste, aberto

Consiste em colocar uma pequena porção do reagente, na horizontal, sobre a superfície do

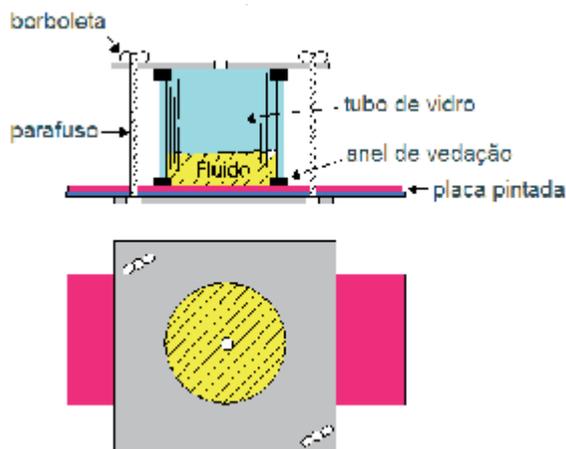


Figura 2 - Desenhos e fotos do “Spot test” com tubos de vidro



corpo de prova. Após o intervalo de tempo acordado entre o comprador e o vendedor, limpar o local e examinar a película e/ou a recuperação das suas propriedades. A Figura 3 apresenta o esquema detalhado do método.

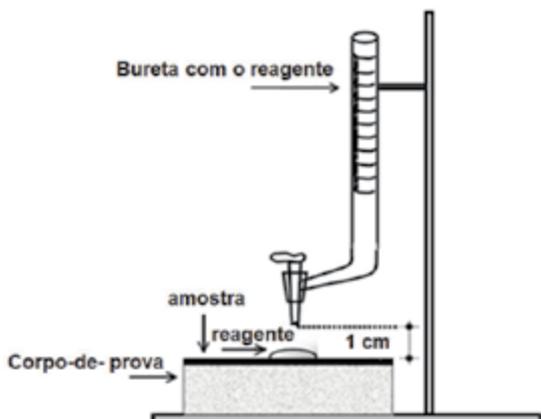


Figura 3 - Desenho do "Spot test" (ensaio de gota)

### Teste de imersão

Consiste em imergir os corpos de prova a uma profundidade de 50% nos reagentes

especificados contidos em copos Bequers, em temperatura e tempo de ensaio acordado entre as partes interessadas. Retirar os painéis, lavar com água destilada e examinar imediatamente a película. Se desejar, permitir que os painéis se recuperem durante um período especificado e examinar quanto ao retorno das propriedades originais. A Figura 4 apresenta alguns testes de imersão.

Os principais efeitos da superfície que devem ser observados e são condenáveis são:

- descoloração,
- mudança de brilho,
- bolhas,
- amolecimento,
- inchaço,
- perda de aderência,
- fenômenos especiais.

Nas Figuras 5 e 6 são mostradas fotos de painéis pintados com tintas alquídicas e epoxídicas e ensaiados em diversos produtos químicos.



Figura 4 - Fotos da imersão parcial dos painéis no recipiente com a água

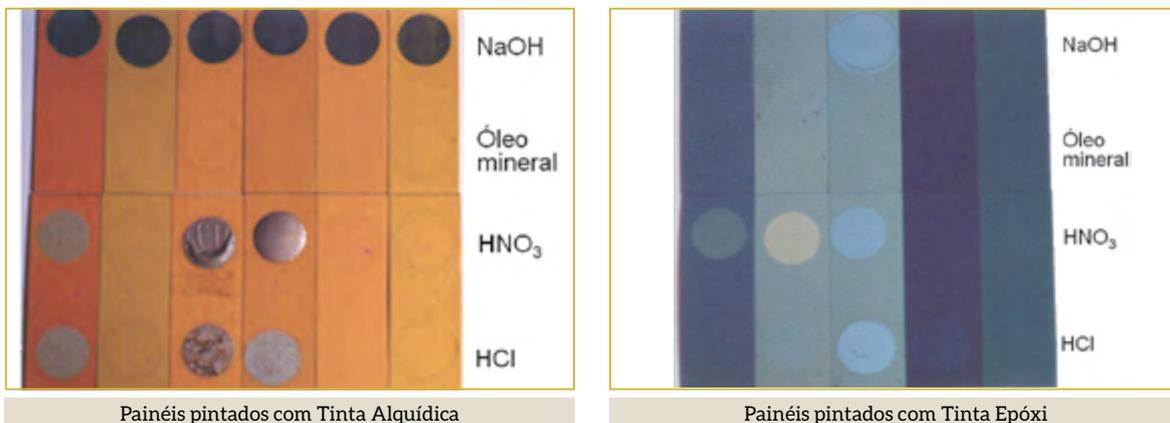


Figura 5 - Painéis após os ensaios de imersão em diversos produtos químicos



Figura 6 - Corpos de prova após ensaios de imersão com “Spot test” em diversos líquidos

### ASTM C 868 - Standard Test Method for Chemical Resistance of Protective Linings

Esta norma apesar de ter sido substituída pela ASTM D 6943, apresenta maior detalhamento com relação a montagem do equipamento utilizado, a Célula Atlas.

O teste de célula de Atlas é um método acelerado de laboratório usado para avaliar a corrosão e controlar as propriedades de um revestimento orgânico expostos a um ambiente quimicamente agressivo. O método também avalia a capacidade de um revestimento para resistir a um gradiente de temperatura que existe entre as superfícies internas e externas de um substrato revestido como encontrado no interior de

tanques industriais não-isolados ou navios, que sofrem o que é denominado o “efeito de parede fria”. Alguns vasos de teste tem jaquetas de arrefecimento externas para que o gradiente térmico possa ser controlado.

Efeito de parede fria é um fenômeno que frequentemente é observado na indústria de petróleo e gás, onde a temperatura externa da superfície de aço é menor do que a do interior do vaso ou da tubulação, existindo um gradiente térmico de temperatura que causa a condensação de água no aço e problema de aderência da tinta ou do revestimento na interface. Nas Figuras 7, 8 e 9 podem ser visto algumas fotos e ilustrações de Células Atlas conforme as Normas ASTM D 6943 e ASTM C 868.

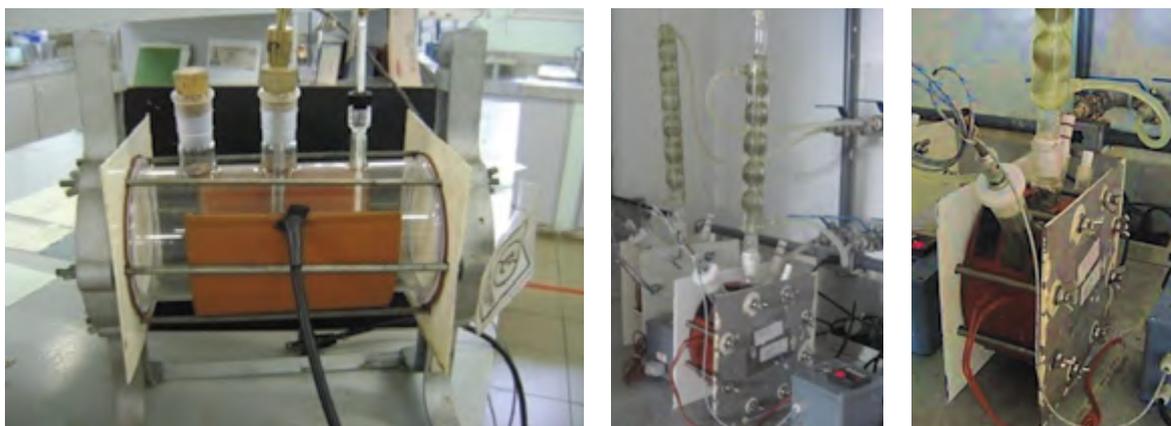
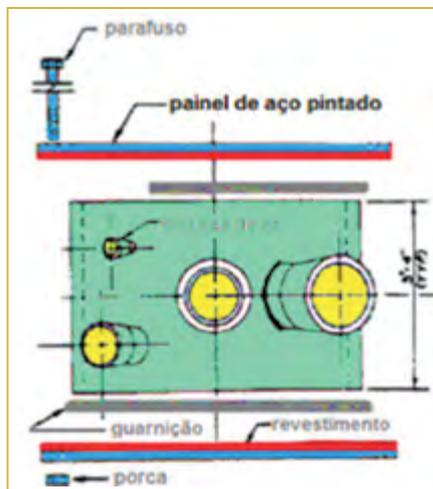
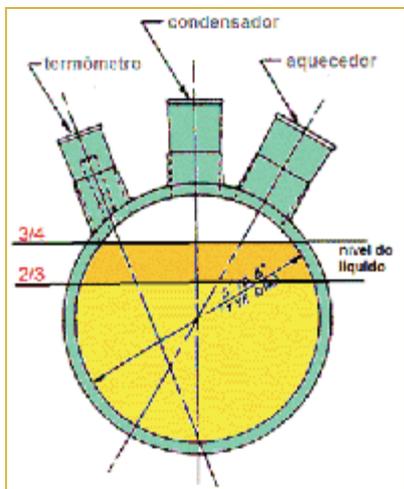
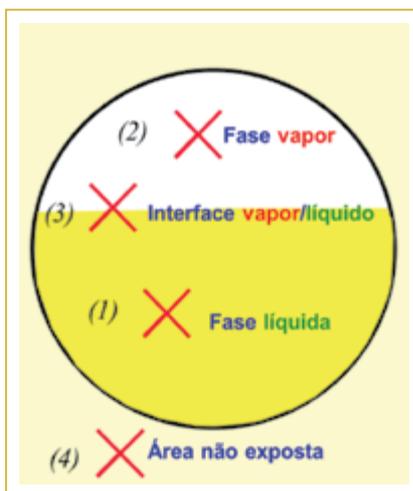


Figura 7 - Células de ensaio, Cilindros de vidro tipo Borossilicato de quatro bocas e acessórios



**Nota:** A norma ASTM D 6943 não traz os desenhos que eram mostrados na antiga ASTM C 868 e que eram muito úteis para a visualização de como é uma Célula Atlas e como é o seu funcionamento. Logicamente que aqui foi colorida para melhor entendimento e também o nível do líquido foi acrescentado ao desenho original.

Figura 8 - Desenho da Célula de ensaio, como constava da antiga ASTM C 868



**Notas:**  
 1 - O Desenho ao lado esquerdo é baseado no texto da antiga norma ASTM C 868 para facilitar a visualização das Áreas e Fases a serem avaliadas.  
 2 - A foto a direita é o resultado do ensaio de exposição real.



Figura 9 - Desenho da Célula de ensaio, como constava da antiga ASTM C 868

A avaliação da película é feita em quatro áreas do painel, conforme Figura 9:

- (1) Fase líquida
- (2) Fase vapor
- (3) Interface vapor/líquido
- (3) Área não exposta

A norma PETROBRAS N-2912 Rev.A além de exigir a ausência de falha, inclui na avaliação o ensaio de aderência à tração, conforme a ABNT NBR 15877:2010, Anexo A.2 ou ASTM D4541:2009, Método D - Equipamento Tipo IV, tanto na região que permaneceu imersa durante

o ensaio quanto naquela que permaneceu exposta à fase vapor. O valor da tensão de ruptura não deve ser inferior a 10 MPa e não são aceitas falhas de natureza adesiva ao substrato (A/B).

Ao se observar os painéis, após a realização dos ensaios de célula atlas, autoclave e imersão em água e produtos químicos, não deve ser constatada a presença de bolhas, pontos de corrosão, trincas e falhas de qualquer natureza no revestimento.

**NOTA** É considerado aceitável a alteração de coloração da película ao término do ensaio de imersão em nafta de coque.

## ASTM D 6943 Standard Practice for Immersion Testing of Industrial Protective Coatings and Linings

A norma ASTM D 6943 que substituiu a ASTM C 868 em 2015, que era específica de imersão em Célula Atlas. Ela abrange três metodologias para avaliar a resistência química de um revestimento polimérico de proteção interna para serviços de imersão contínuo ou intermitente.

### Método A

Este método avalia amostras sob condições de temperatura constante à pressão atmosférica. Para temperaturas elevadas é recomendada a utilização do equipamento similar ao da norma NACE TM 0174 Procedimento B, que será mencionado posteriormente..

### Método B

Este método avalia amostras sob condições que proporcionam um gradiente de temperatura em toda a amostra. É recomendada a utilização do equipamento similar ao da norma NACE TM 0174 Procedimento A, que será mencionado posteriormente e é mais detalhada na norma que foi substituída, ASTM C868.

### Método C

Este método avalia amostras sob condições de temperatura constante e aumento da pressão, (ou seja, sem um gradiente térmico mas com variação de pressão). É utilizado uma autoclave similar ao mencionado na norma NACE TM0185.

## ASTM G8 - Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings

Este método acelerado tem como objetivo avaliar revestimento de isolamento aplicados no exterior de tubulação de aço enterrados que estarão ou não em contato com o solo, podendo ou não receber proteção catódica.

Danos no revestimento do tubo são quase inevitáveis durante o transporte e construção que podem expor a tubulação a possível corrosão, depois que uma tubulação é instalada no solo, a terra circundante mais ou menos úmida constitui um eletrólito eficaz. Potenciais de solo e potenciais de proteção catódica aplicada podem causar descolamento do revestimento, iniciando pelas bordas, podendo aumentar o tamanho da área em alguns casos.

Os efeitos do teste podem ser avaliados por um exame físico e/ou monitorando a corrente absorvida pela amostra. Geralmente não há nenhuma correlação entre os dois métodos de avaliação, mas ambos os métodos são significativos. O exame físico consiste em avaliar comparativamente a adesão do revestimento em uma área imersa, isto é, testada com uma área que não sofreu o dano.

A capacidade de resistir ao descolamento é uma qualidade desejada em uma base comparativa, mas o descolamento em si não é necessariamente uma indicação adversa. O importante é que todos os revestimentos do tipo dielétricos sofrerão descolamento em um determinado grau, proporcionando uma forma de comparação entre os revestimentos. A adesão é mais importante para alguns revestimentos do que outros e o mesmo descolamento medido para dois revestimentos diferentes pode não representar perda equivalente de proteção contra corrosão.

A norma apresenta dois métodos em que o revestimento com um furo padrão (dano) é submetido a uma tensão elétrica em um eletrólito alcalino altamente condutor.

### Método A

Utiliza ânodo de magnésio sem monitoramento elétrico durante o período de teste e após o período de teste a película é avaliada fisicamente.

### Método B

Utiliza ânodo de magnésio ou sistema de corrente impressa e durante o período de teste a

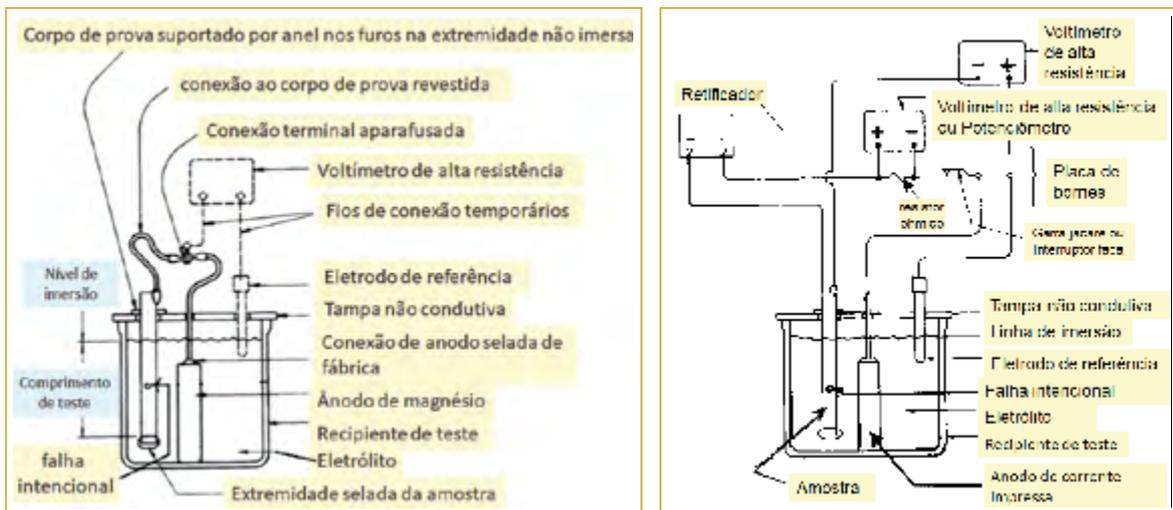


Figura 10 - Montagem do teste usando anodo de magnésio e circuito de corrente impressa

corrente e o potencial elétrico são medidos e, após a conclusão do período de teste, o corpo de prova é examinado fisicamente.

A Figura 10 apresenta dois tipos de montagem do Método B, com anodo de magnésio e com corrente impressa, apenas como exemplo.

Na Figura 11 são mostrados vários painéis prontos para serem imersos na solução para o ensaio de descolamento catódico.

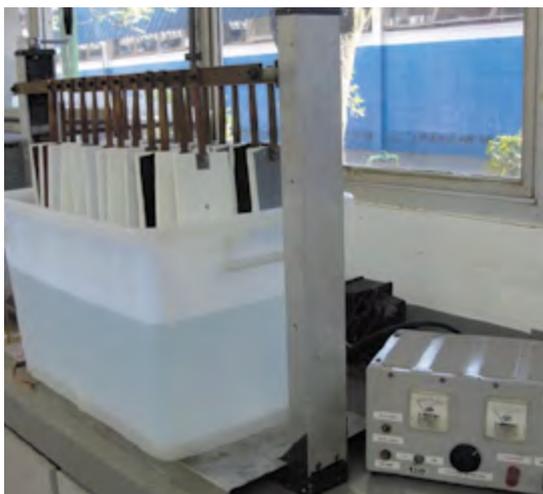


Figura 11 - Placas de testes prontas para a imersão na solução para o descolamento catódico

A avaliação de ambos os métodos é através da área de revestimento que sofreu descolamento do substrato.

Um exemplo de Ensaio de descolamento catódico conforme ASTM G 8 método B requerido pela norma PETROBRA N-2680 com os seguintes parâmetros:

- Potencial eletroquímico entre **-1,45 V** e **-1,55 V**, medidos em relação a um eletrodo de referência de **Cu/CuSO<sub>4</sub>**,
- Sistema de corrente impressa ou um anodo de sacrifício galvânico de magnésio.
- Temperatura do eletrólito: **21°C a 25°C**
- Composição química do eletrólito: **1 % de cloreto de sódio + 1 % de sulfato de sódio + 1 % de carbonato de sódio.**
- Diâmetro do furo: **6,35 mm** Duração do ensaio: **30 dias.**

Nas Figuras 12 e 13 são mostradas placas ensaiadas no teste de descolamento catódico e como exemplo, a comparação entre um bom e um mau resultado de desempenho de uma tinta no ensaio de descolamento catódico para atender a norma Petrobras N-2680. .

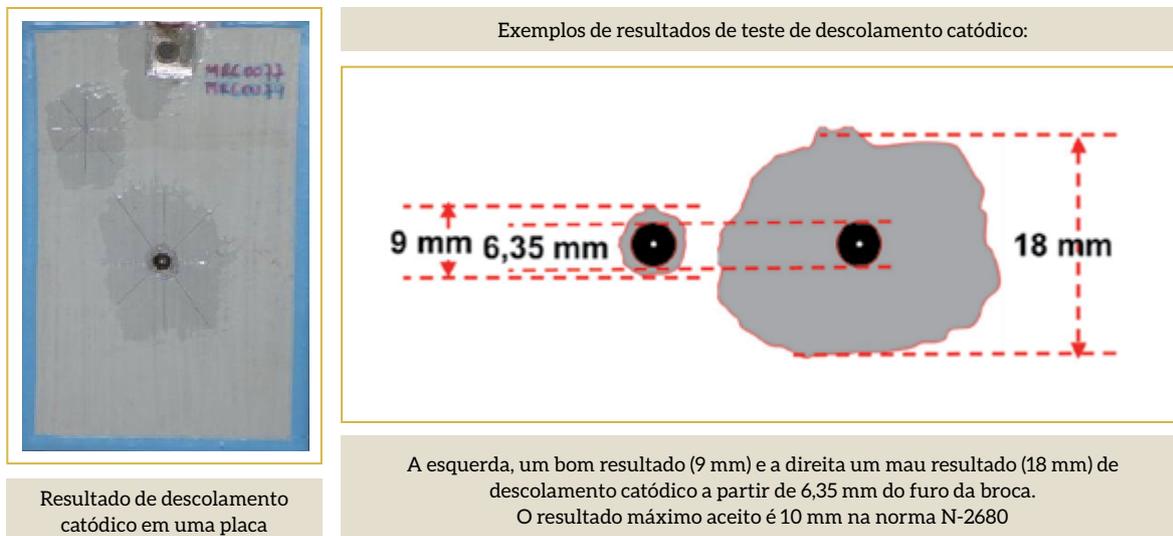


Figura 12 - Apresentação de um resultado real e comparação entre um bom e um mau resultado

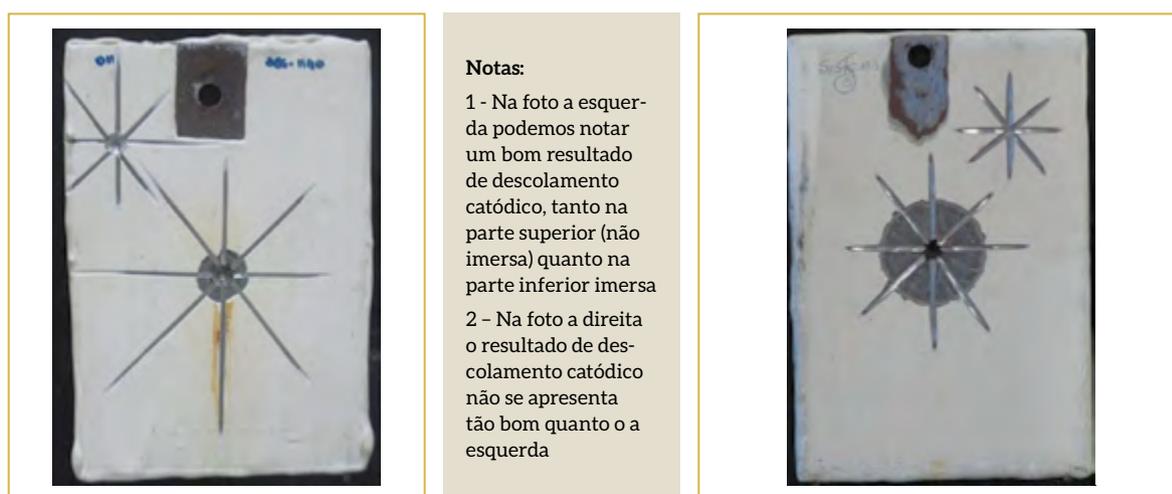


Figura 13 - Apresentação de um resultado real e comparação entre um bom e um mau resultado

Na Figura 13 podemos observar os resultados de ensaios de descolamento catódico segundo a norma ASTM G 8 em duas placas, uma apresentando um bom resultado e outra apresentando um mau resultado.

### ISO 2812 Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids

A norma ISO 2812 apresenta cinco métodos de imersão.

#### ISO 2812-1:2017

##### Imersão em líquidos que não seja água

Apresenta a metodologia para avaliar o desempenho do revestimento em imersão em líquidos com exceção da água, São especificadas dois métodos, um para fase única (Método A) e outro com duas fases líquidas (Método B), consistindo de dois líquidos com diferentes massas específicas. Na Figura 14 são mostradas configurações de imersão com os painéis imersos pela metade em um único líquido (Método A) e em dois líquidos (Método B).

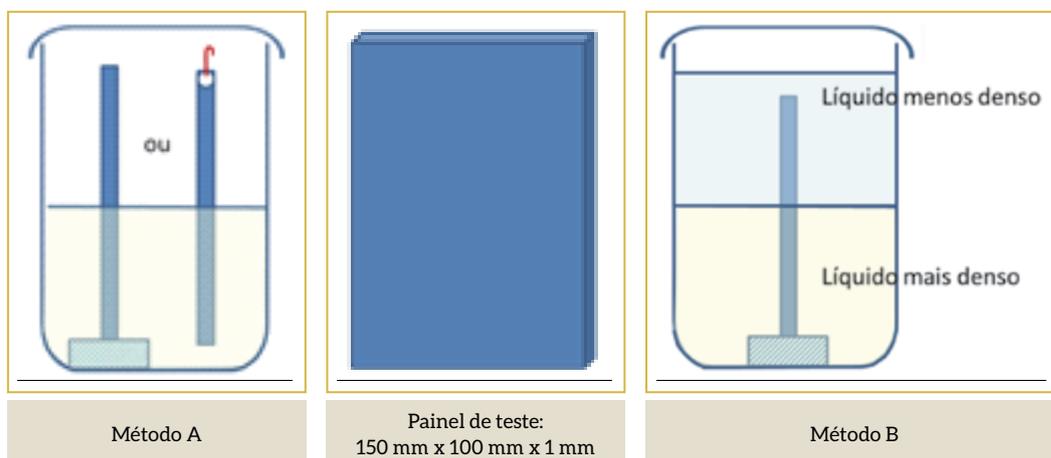


Figura 14 - Recipientes com o líquido de teste Método A e Método B

Alguns fluídos que podem ser utilizados para teste:

**Combustíveis e fluidos operacionais para a indústria automotiva**

- Diesel Combustível,
- Gasolina Premium,
- Biodiesel,
- Óleo de motor,
- Óleo de caixa de câmbio,
- Óleo hidráulico,
- Óleo de transmissão automática,
- Fluido de freio,
- Fluido anticongelante de Radiador,
- Composto selante de corpo.

**Produtos químicos de Laboratório**

- Composto selante de cavidade,
- Fluido de lavagem de para-brisas,
- Limpador a frio.
- Etanol,
- Isopropanol,
- Solução de Hidróxido de Sódio 5%,
- Solução de Ácido Clorídrico 10%,
- Solução de Ácido Sulfuroso 6%,

- Solução de Ácido Sulfúrico 10%,
- Solução de Ácido Sulfúrico 36%.

**ISO 2812-2:2018**

**Imersão em água**

Apresenta a metodologia para avaliar o desempenho do revestimento em imersão parcial ou total em água.

Se imersão parcial for necessária, as peças de teste devem ser imersas por **três quartos** de seu comprimento. Se a imersão total é necessária, as peças devem ser submersas tal que o nível da água fique no mínimo **50 mm** acima da parte superior da peça teste para evitar efeitos de diferença de concentração de oxigênio d'água. Estas duas metodologias são mostradas na Figura 15.

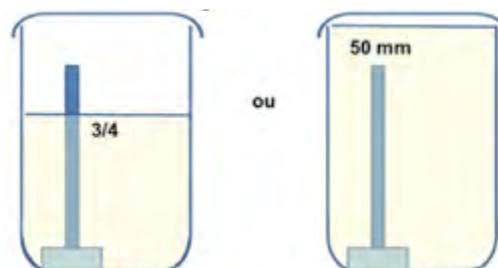


Figura 15 - Peças de testes parcialmente (3/4) ou totalmente imersas

Salvo acordo em contrário, ajustar a temperatura da água ( $40 \pm 2$ )°C e manter esta temperatura durante todo o ensaio.

A água a ser utilizada deve estar em conformidade com os requisitos do Grau 3 da ISO 3696. Dependendo do uso final do revestimento, outros Graus de água podem ser usadas, por exemplo, água do mar natural ou artificial.

### ISO 2812-3:2012

#### Método usando um meio absorvente

Apresenta uma metodologia usando um meio absorvente, como algodão, para determinar a resistência do revestimento contra os efeitos de líquidos ou produtos pastosos.

Os líquidos que podem ser testados são os similares a Parte 1 e 2 da norma e também algumas substâncias biológicas:

- Resina, consistindo de:
  - breu 50 % (em massa)
  - óleo de pinho 50 % (em massa)
- Simulação de excremento de inseto:
  - por exemplo ácido fórmico 47 % (em massa),
  - Ácido tânico 24% (em massa)
  - Albumina 5% (em massa) e
  - Mel 24% (em massa)
- Goma arábica (goma de acácia).
- Breu.
- Simulação de excrementos de pássaros:
  - Pancreatina, diluída 1:1 com água de Grau 3 conforme ISO 3696.

### ISO 2812-4:2017

#### Método de spot (localizada)

Apresenta a metodologia de spotting para determinar a resistência de um revestimento

contra os efeitos de líquidos ou produtos pastosos.

Os líquidos são exatamente os mesmos da ISO 2812-Parte 3.

### ISO 2812-5:2007

#### Método do forno de gradiente de temperatura

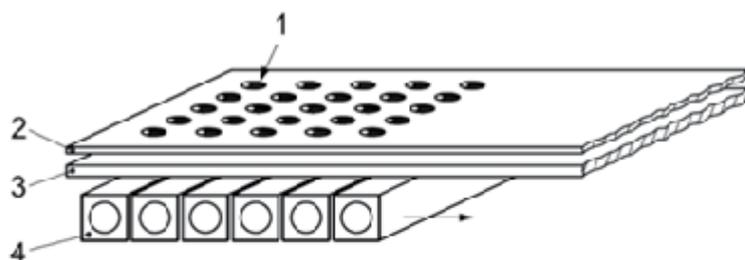
Apresenta uma metodologia usando um forno de gradiente de temperatura, para determinar a resistência de um revestimento contra os efeitos de líquidos ou produtos pastosos.

O gotejamento deve ser efetuado em temperatura ambiente (de 18°C a 28°C) com o painel sobre uma mesa de laboratório antes de ser colocado no forno de gradiente. O forno é regulado em um gradiente de 35°C para 80°C. A diferença de temperatura entre os segmentos individuais de aquecimento deve ser de 1°C, conforme Figura 16.

Empurre o painel de teste preparado no forno gradiente e pressione-o para o banco de aquecimento usando um dispositivo de prensagem. Expor o painel de teste no forno gradiente por 30 min, em seguida, retire-o do forno.

A escolha do fluido a ser utilizado no teste é feito por acordo das partes interessadas. A norma sugere os seguintes produtos químicos de laboratório:

- Solução de Hidróxido de sódio, com 5% de Na OH em massa
- Solução de Ácido Clorídrico, com 10% de HCl em massa
- Solução de Ácido Sulfuroso, com 6% de H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> em massa



#### Legenda

- 1 – substancia teste
- 2 – painel de teste
- 3 – vidro especial
- 4 – elementos de aquecimento

Figura 16 - Banco de aquecimento do Forno de Gradiente

- Solução de Ácido Sulfúrico, com 10% de  $H_2SO_4$  em massa
- Solução de Ácido Sulfúrico, com 36% de  $H_2SO_4$  em massa
- Água conforme os requisitos do Grau 3 da ISO 3696

E as seguintes substâncias biológicas:

- Resina
- Simulação de excremento de inseto
- Goma arábica
- Breu

### NACE Standard TM0174-2002 Standard Test Method Laboratory Methods for the Evaluation of Protective Coatings and Lining Materials on Metallic Substrates in Immersion Service

Esta norma apresenta dois métodos de ensaio que são citados na norma ASTM D 6943 para

avaliar o desempenho de tintas e revestimentos anticorrosivos utilizados no serviço de imersão.

#### Procedimento A: teste de um lado

Este método de ensaio consiste em expor um lado de um painel revestido em um ambiente potencialmente degradante em condições muito próximas daqueles que podem ser encontradas em condições reais de serviço. O detalhamento do equipamento é apresentado na Figura 17. Este procedimento é similar as Normas ASTM D 6943 (Método B) e ASTM C 868.

#### Procedimento B: teste de imersão

Este método de teste consiste em imersão total ou parcial de um painel completamente revestido na solução de ensaio sob condições isotérmicas. O equipamento utilizado é apresentado na Figura 18. Este procedimento é similar a Norma ASTM D 6943 (Método A).

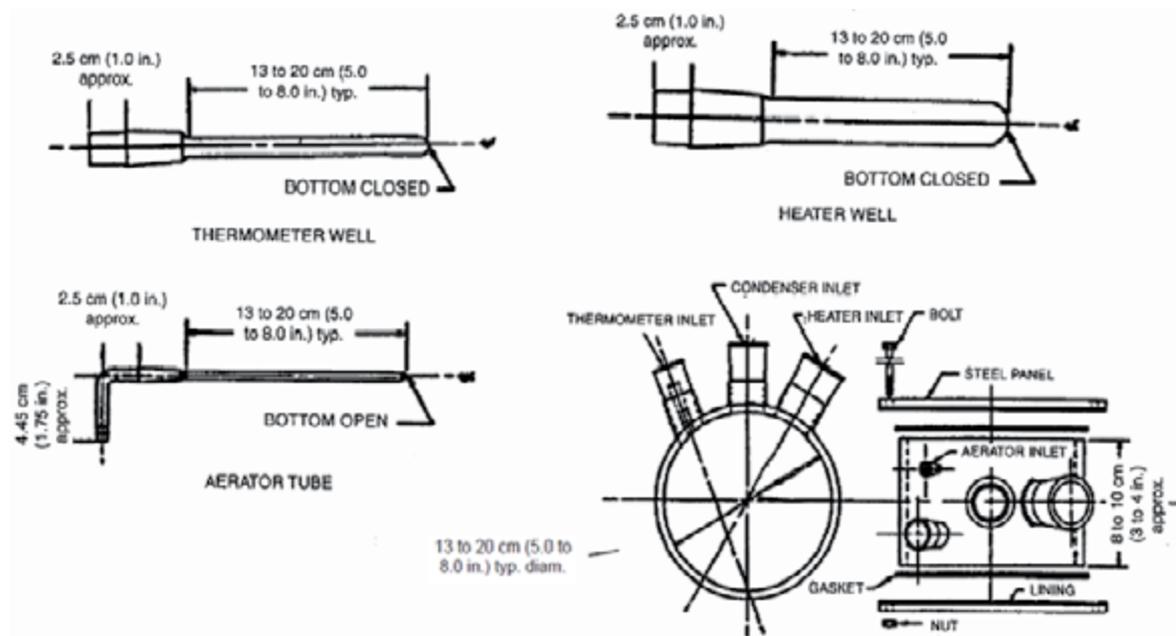


Figura 17 - Diagrama esquemático do procedimento A (célula Atlas).

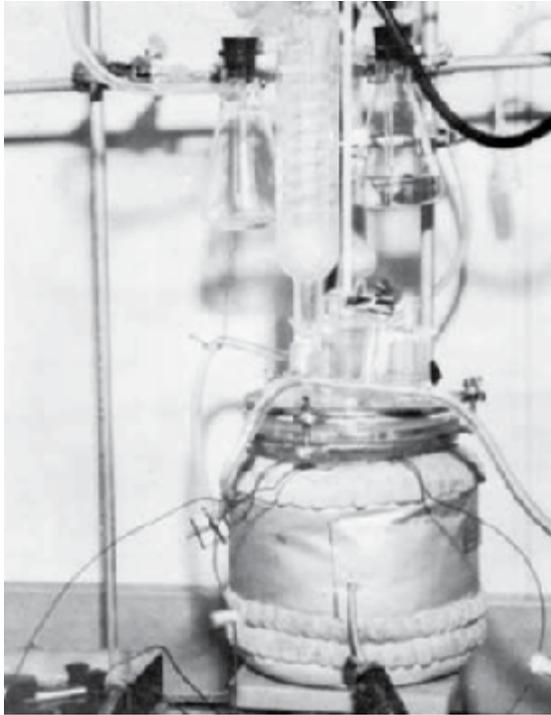


Figura 18 - Reator do procedimento B teste de imersão que consta da norma NACE TM0174

### **NACE TM0185-2006 - Evaluation of Internal Plastic Coatings for Corrosion Control of Tubular Goods by Autoclave Testing**

O teste de Autoclave simula condições de campo para pinturas internas e/ou revestimentos para aplicações em tanques e vasos expostos a líquidos (polares e não polares) e gases (mistura de meios corrosivos, inflamáveis e/ou inertes), temperatura e pressão. É possível também simular serviço em que há a possibilidade de rápida descompressão. A Figura 19 apresenta o esquema de montagem da Autoclave.

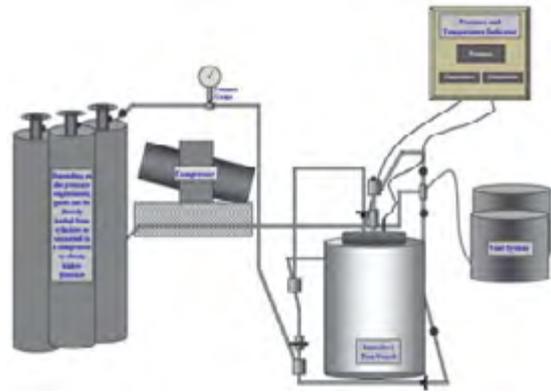


Figura 19 - Diagrama esquemático do sistema de Autoclave

Os painéis de teste são imersos na fase líquida saturada com uma mistura de gases (por exemplo, 5% H<sub>2</sub>S, 5% CO<sub>2</sub> e 90% de metano) e expostos a pressão e temperatura. O vaso de alta pressão é aquecido uniformemente por um banho de óleo de silicone. A temperatura no interior do vaso é monitorada por um termopar conectado ao vaso.

Ao final do período de teste, as duas áreas do painel (fase líquida e gasosa) podem ser avaliados comparando com um painel padrão, que não passou por teste com relação a alguns aspectos:

- Aderência: cortes paralelos, cortes em X (ASTM D 6677), Pull-off (ASTM D 4541)
- Espessura de película (ASTM D7091)
- Bolhas (ASTM D 714)
- Fissuras (Cracking - ASTM D 661)
- Delaminação
- Mudanças de cor
- Brilho (ASTM D 523)
- Espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) (ISO 16773)

## Anexos

### Ensaio de imersão previstos nas Normas Petrobras

Norma Petrobras	Ensaio de imersão	Norma do ensaio
N-2628, N-2630, N-2677,	Imersão em Água Destilada,	ASTM D 870
N-1277, N-1661, N-1841, N-2628, N-2630, N-2677, N-2680, N-1374	Imersão em Água Salgada (3,5 % de NaCl) Imersão em Xileno, Imersão em NaOH a 10 %, Imersão em Metil-Isobutil-Cetona,	ASTM D 1308
N-2680, N-1374	Imersão em Água do Mar Sintética a 40°C,	ASTM D 1141
N-2912	Célula atlas a 40°C h (antiga ASTM C 868) Célula atlas a 60°C h (antiga ASTM C 868) Célula atlas a 80°C h (antiga ASTM C 868)	ASTM D 6943 ASTM D 6943 ASTM D 6943
N-2912, N-1374	Imersão em Água Destilada, 40°C, Imersão em NaOH a 30 %, Imersão em H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 40 %, Imersão em Xileno, Imersão em Nafta de coque, Imersão em Etanol combustível,	ISO 2812-1 ISO 2812-1 ISO 2812-1 ISO 2812-1 ISO 2812-1 ISO 2812-1
N-2912	Resistência à água destilada 40°C,	ISO 2812-2
N-1374, N-2912	Descolamento catódico	ASTM G 8
N-2912	Autoclave @ 150 °C, Notas 1 e 2	NACE TM 0185

### Normas Petrobras referidas na tabela acima

- N-1277 - Tinta de Fundo Epóxi Rica em Zinco
- N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e de Produção
- N-1661 - Tinta de Zinco Etil-Silicato
- N-1841 - "Shop Primer" de Zinco Etil-Silicato
- N-2628 - Tinta Epóxi Poliamida de Alta Espessura
- N-2630 - Tinta de Fundo Epóxi de Alta Espessura
- N-2677 - Tinta de Poliuretano Acrílico
- N-2680 - Tinta Epóxi, Sem Solventes, Tolerante a Superfícies Molhadas
- N-2912 - Tinta Epóxi "Novolac"

#### NOTA 1

A solução a ser utilizada deve ter a seguinte composição: 70 000 ppm de íons cloreto, 21,0 g/L de acetato de sódio trihidratado, pH inicial igual à 5,0, ajustado com ácido clorídrico.

#### NOTA 2

A fase gasosa deve ser composta por 96 % de CO<sub>2</sub> e 4 % de H<sub>2</sub>S e, ao longo do ensaio, sua pressão deve ser mantida suficientemente acima da pressão de vapor da água a 150 °C, para evitar que a solução entre em ebulição.

## Referências

- (1) [http://www.gaeta.eng.br/e107\\_files/downloads/acabamentosempinturasKaiLohvol2.pdf](http://www.gaeta.eng.br/e107_files/downloads/acabamentosempinturasKaiLohvol2.pdf)
- (2) [http://www.chartercoating.com/coating\\_inspection/atlas-cell-test.php](http://www.chartercoating.com/coating_inspection/atlas-cell-test.php)
- (3) <http://apluscoating.com/atlas-cell/>

## Referências normativas

- ASTM C868-02 (Reapproved 2012) - Standard Test Method for Chemical Resistance of Protective Linings
- ASTM D 870-15 - Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion
- ASTM D 1141- 98 (Reapproved 2013) - Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water
- ASTM D 1308-02 (2013) - Standard Test Method for Effect of Household Chemicals on Clear and Pigmented Organic Finishes
- ASTM D 6943-15 - Standard Practice for Immersion Testing of Industrial Protective Coatings and Linings
- ASTM G 8 - 96 (Reapproved 2010) Standard Test Methods for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings
- ISO 2812-1:2017 - Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids – Part 1: Immersion in liquids other than water
- ISO 2812-2:2018 - Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids – Part 2: Water immersion method
- ISO 2812-3:2012 - Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids – Part 3: Method using an absorbent medium
- ISO 2812-4:2017 - Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids – Part 4: Spotting methods
- ISO 2812-5:2007 - Paints and varnishes – Determination of resistance to liquids – Part 5: Temperature-gradient oven method

NACE TM0185-2006-SG - Evaluation of Internal Plastic Coatings for Corrosion Control of Tubular Goods by Autoclave Testing

NACE TM0174-2002 - Standard Test Method Laboratory Methods for the Evaluation of Protective Coatings and Lining Materials on Metallic Substrates in Immersion Service

Norma Petrobras N-1277 - Tinta de Fundo Epóxi Rica em Zinco

Norma Petrobras N-1374 - Revestimentos Anticorrosivos para Manutenção de Unidades Marítimas de Exploração e de Produção

Norma Petrobras N-1661 - Tinta de Zinco Etil-Silicato

Norma Petrobras N-1841 - "Shop Primer" de Zinco Etil-Silicato

Norma Petrobras N-2628 - Tinta Epóxi Poliamida de Alta Espessura

Norma Petrobras N-2630 - Tinta de Fundo Epóxi de Alta Espessura

Norma Petrobras N-2677 - Tinta de Poliuretano Acrílico

Norma Petrobras N-2680 - Tinta Epóxi, Sem Solventes, Tolerante a Superfícies Molhadas

Norma Petrobras N-2912 - Tinta Epóxi "Novolac"

## Agradecimento

Agradecemos sinceramente ao amigo e grande profissional Assistente Técnico da SW, Sr. Felipe Fredo Naciuk e a equipe do laboratório de desenvolvimento, Décio Ohira e Tatiane Colucci, pela cessão de importantes materiais para a elaboração deste artigo.

# UTILIZAÇÃO DE ANODOS GALVÂNICOS PARA A PROTEÇÃO CATÓDICA DE ARMADURAS DE REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

**Luiz Paulo Gomes**

Diretor / Empresa: IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda.  
LPgomes@iecengenharia.com.br

## Abstract

---

Concrete while new and in good conditions has high pH and high electrical resistivity. These features provide excellent corrosion protection for the reinforcing steel rebars. Over time, concrete can absorb water, CO<sub>2</sub>, chlorides and other pollutants. This contamination reduces the pH and electrical resistivity of the concrete.

When this happens the concrete turns into an excellent electrolyte, allowing the operation of the corrosion cells. To protect the rebars against corrosion an important solution is the use of galvanic anodes, specially developed for this purpose. Anodes can be installed with exposed rebars (during construction and during structural recovery services) or without the need to break the structure to expose the rebars.

## Resumo

---

O concreto enquanto novo e em bom estado possui pH elevado e alta resistividade elétrica. Essas características conferem excelente proteção contra a corrosão para as ferragens de reforço nele embutidas. Com o passar do tempo o concreto pode absorver água, CO<sub>2</sub>, cloretos e outros poluentes. Essa contaminação reduz o pH e a resistividade elétrica do concreto.

Quando isso acontece o concreto se transforma em um excelente eletrólito, permitindo o funcionamento das pilhas de corrosão. Para proteger as ferragens contra a corrosão uma solução importante consiste na utilização de anodos galvânicos, desenvolvidos especialmente para essa finalidade. Os anodos podem ser instalados com as armaduras de aço expostas (durante a construção e durante os serviços de recuperação estrutural) ou sem a necessidade de quebrar o concreto para deixar as ferragens aparentes.

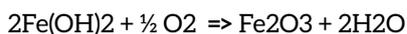
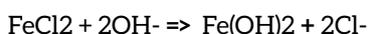
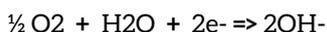
**Palavras-chave:** Ensaios Cíclicos de Corrosão em Pinturas

## Como as ferragens se corroem

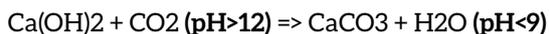
A absorção de água, cloretos, CO<sub>2</sub> e outros poluentes é muito comum de acontecer, sendo a principal causa de deterioração das obras de concreto.

A água, os cloretos e os poluentes de um modo geral diminuem a resistividade elétrica do concreto, permitindo que as pilhas de corrosão funcionem com facilidade.

As equações de corrosão, nesses casos, são bastante conhecidas:



Já a absorção de CO<sub>2</sub> provoca a carbonatação do concreto, diminuindo o pH e despassivando o aço, de acordo com a equação abaixo, também muito conhecida:



O produto de corrosão formado ocupa um volume muito maior que a massa de ferragem corroída e o concreto estoura, permitindo a entrada de mais água, cloretos, CO<sub>2</sub> e poluentes, alimentando o processo de corrosão.

As fotos a seguir são bastante ilustrativas. Todos nós estamos acostumados a observar essa

situação em pontes, viadutos e edificações de um modo geral.

## Como proteger as ferragens

Para proteger as ferragens contra a corrosão uma solução importante consiste na utilização de anodos galvânicos de liga de zinco de alto potencial, fabricados especialmente para essa finalidade.

Esses anodos foram desenvolvidos pela Vector-Corrosion Technologies, que utiliza um encapsulamento especial com argamassa apropriada de pH elevado, com a finalidade de mantê-los permanente ativados dentro do concreto.

Experiências práticas mostram que os anodos de zinco, quando utilizados diretamente em contato com o concreto, sem o encapsulamento, ficam passivados em pouco tempo, deixam de funcionar corretamente e não fornecem proteção adequada às armaduras. Por esse motivo os anodos nunca devem ser instalados diretamente em contato com concreto, sem esse encapsulamento, sob pena de tornarem-se imprestáveis.

O núcleo de cada anodo é fundido com uma alma de arame recozido, para permitir que sejam amarrados nas ferragens com facilidade. Esses anodos podem ser fabricados em vários tipos, formatos e tamanhos, dependendo da aplicação que se deseja.

Veja alguns exemplos:



Figuras 1 e 2: Fotos de ferragens corroídas, situações comuns de serem observadas em pontes, viadutos e edificações.



Figura 3: Três formatos diferentes de anodos para a instalação em armaduras. Existem outros modelos, um para cada tipo de aplicação.

## Quando instalar os anodos

Os anodos galvânicos podem ser instalados em três situações diferentes:

- Em estruturas novas, durante a construção e antes da concretagem.
- Durante os trabalhos de recuperação estrutural, com as ferragens aparentes.
- Sem a necessidade de quebrar o concreto para expor as ferragens.

## Instalação dos anodos galvânicos em obras novas

Veja a seguir alguns exemplos de instalação dos anodos galvânicos em estruturas novas, durante a armação das ferragens e antes da concretagem.

Figuras 4, 5 e 6: Anodos de proteção catódica instalados durante a armação das ferragens e antes da concretagem.



## Instalação dos anodos galvânicos durante as atividades de recuperação estrutural

Nos serviços de recuperação estrutural, a interface entre o concreto antigo e o novo concreto de recuperação adiciona pilhas importantes de corrosão às ferragens. A instalação de anodos galvânicos nessas regiões é de fundamental importância para evitar novos e ainda mais severos problemas de danos por corrosão. Devemos sempre aproveitar que as ferragens estão expostas e instalar os anodos de proteção catódica, com facilidade e baixo custo, antes da concretagem dos locais recuperados. Assim sendo, podemos afirmar com segurança que não existe nenhuma justificativa, nem técnica e nem econômica, para que esse procedimento não seja adotado durante as atividades de recuperação estrutural.

Veja essas fotos da instalação dos anodos durante os serviços de recuperação estrutural e verifique como é simples adotar esse procedimento.

Figuras 8, 9 e 10 e 11: Anodos de proteção catódica sendo instalados durante os serviços de recuperação estrutural.





## Instalação dos anodos galvânicos sem que as ferragens estejam aparentes

Os anodos também podem ser instalados sem que as ferragens estejam expostas e sem a necessidade de quebrar o concreto. Isso acontece, com muita frequência, em colunas, vigas, pilares e paredes, onde são diagnosticados problemas de corrosão mediante medições dos potenciais da armadura em relação ao concreto, o chamado potencial de corrosão. Nesses casos são feitos furos na estrutura de concreto para a instalação de anodos cilíndricos, especialmente desenvolvidos para essas aplicações. O cabo elétrico do anodo é ligado eletricamente à ferragem com uma técnica especial, sem a necessidade de expor o aço.

Veja os exemplos abaixo.

*Figuras 12, 13 e 14: Anodos de proteção catódica sendo instalados sem que as ferragens estejam expostas, em locais onde foram detectados problemas de corrosão. Repare que os anodos para essas aplicações são cilíndricos, para que sejam introduzidos com facilidades nos furos feitos com essa finalidade.*





## Proteção catódica por corrente impressa

Para o caso de grandes estruturas o sistema de proteção catódica mais indicado pode ser o sistema do tipo por corrente impressa, onde são utilizados anodos inertes especiais alimentados por um ou mais retificadores de corrente.

A definição do método mais indicado de proteção catódica (galvânica ou por corrente impressa) depende de um estudo criterioso onde são analisadas as vantagens técnicas e econômicas de cada método para uma determinada estrutura de concreto.

## Medições dos potenciais de corrosão das ferragens

Para a avaliação e estudo de corrosão das ferragens de uma determinada estrutura de concreto utilizamos sempre a análise dos potenciais ferragem em relação ao concreto (potenciais de corrosão), medidas com o auxílio de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Cu/CuSO<sub>4</sub>, de acordo com a Norma ASTM C876-15 (Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoated Reinforced Steel in Concrete).

Nesses casos, as seguintes situações podem ocorrer:

- Potencial mais negativo que -350mV (alto risco de corrosão, corrosão ativa)
- Potencial entre -350mV e -200mV (médio risco de corrosão, corrosão moderada)

- Potencial menos negativo que -200mV (baixo risco de corrosão, ferragem passivada)

Figura 15: Medição do potencial da armadura de aço em relação ao concreto (potencial de corrosão). Com essas medições podemos diagnosticar os problemas de corrosão nas ferragens, sem a necessidade de quebrar o concreto e expor as armaduras para inspeção visual.



## Normas técnicas

Além da Norma ASTM C 876-15, as seguintes normas e standards são utilizadas para a aplicação de proteção catódica em estruturas de concreto:

- Norma ISO12696:2016 (Cathodic Protection of Steel in Concrete)
- Standard NACE SP0187-2017 (Design for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete)
- Standard NACE SP0112-2017 (Corrosion Management of Atmospheric Exposed Reinforced Concrete Structures)
- Standard NACE SP0290-2007 (Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures)
- Standard NACE SP0408 (Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures).

## Procedimento recomendado

O procedimento que temos utilizado com frequência e que recomendamos adotar para o estudo, projeto, fornecimento e instalação do

sistema de proteção catódica em estruturas de concreto é o seguinte:

**Primeira Etapa:** análise dos desenhos, inspeção visual, medições dos potenciais das ferragens e demais medições de campo.

**Segunda Etapa:** análise das informações de campo e elaboração do projeto de proteção catódica, com definição do tipo de proteção a ser utilizado (galvânico ou corrente impressa), especificação dos materiais, desenhos e instruções de instalação.

**Terceira Etapa:** fornecimento dos materiais e instalação dos anodos, incluindo os Certificados de Garantia.

## Conclusões

Os problemas de corrosão em estruturas de concreto são bastante frequentes e precisam ser estudados com muito cuidado, sendo importante que sejam diagnosticados corretamente.

A utilização de proteção catódica com o uso de anodos galvânicos (proteção catódica galvânica) ou, em situações especiais, com anodos inertes e retificadores de corrente (proteção catódica por corrente impressa) é a uma solução importante, que nos permite garantir resultados confiáveis ao longo dos anos.

A instalação de proteção catódica pode sempre ser complementada com outros métodos de proteção contra a corrosão, como a utilização de concretos especiais, injeção de polímeros, pintura, revestimento e galvanização das armaduras, mas é a única solução que pode ser utilizada isoladamente com segurança e total garantia, sem a utilização de qualquer outra medida de proteção.

A instalação de anodos galvânicos é sempre recomendada em todas as atividades de recuperação estrutural e de extrema importância para evitar a continuidade dos processos corrosivos em estruturas de concreto de um modo geral, antes mesmo que os primeiros sinais de deterioração comecem a aparecer.

Nessas situações as medições dos potenciais de corrosão são de extrema importância para o estudo e elaboração de um diagnóstico preciso.

## Referências

Gomes, Luiz Paulo, **How to Preserve Concrete Structures With Galvanic Anodes for Cathodic Protection**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 27, October 2018.

Gomes, Luiz Paulo, **Come Preservare Le Structure in Cemento Con Gli Anodi Galvanici Di Protezione Catodica**, Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 27, October 2018, Edição Italiana.

Gomes, Luiz Paulo, **Cómo Mantener las Estructuras de Hormigón Con Ánodos Galvânicos de Protection Catódica**, Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 11, Agosto 2018, Edição para a América Latina.

Gomes, Luiz Paulo, **The Importance for Cathodic Protection for the Modern World**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 28, December 2018.

Gomes, Luiz Paulo, **L'importanza Della Protezione Catodica Per Il Mondo Moderno**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 28, December 2018, Edição Italiana

Gomes, Luiz Paulo, **Protecting Underground Pipelines Against Corrosion and Electrical Interference**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 26, June 2018.

Gomes, Luiz Paulo, **La Protezione Delle Condotte Interrate Dalla Corrosione e Dalle Interferenze Elettriche**, Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 26, June 2018, Edição Italiana..

Gomes, Luiz Paulo, **Sistemas de Proteção Catódica**, livro publicado pela IEC-INSTALAÇÕES E ENGENHARIA DE CORROSÃO LTDA, 1970.

# BARRA DE AÇO PARA ARMADURA DE CONCRETO GALVANIZADA POR IMERSÃO A QUENTE



**Ricardo Suplicy Goes**

Gerente Executivo / Empresa: ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos  
ricardo.goes@icz.org.br

## Abstract

The corrosion of the reinforcing steel bar embedded in the concrete is considered one of the greatest pathologies. And most of the time it is caused by the high density of the reinforcing steel bar with insufficient concrete cover. This article intends to demonstrate that it can extend the service life of the reinforcing steel bar embedded in the concrete, even occurring the causes cited above, with the technology of hot-dip galvanizing, which zinc coating in the reinforcing steel bar. It is a treatment of the surface of the steel, which by a metallurgical reaction, protects the steel against corrosion, with efficacy and low cost. Hot Dip Galvanizing is a consolidated process with its tenacious, durable zinc coating, is uniquely suited to withstand these rigors without causing detriment to the concrete. It is used by the world for over 60 years and Brazil is already using, as we present here.

**Keywords:** Barra, vergalhão, concreto, galvanizado, galvanização

## Resumo

Uma das maiores patologias do concreto armado é a corrosão das armaduras embutidas no concreto. O Brasil tem registrado ultimamente com mais frequência o colapso de estruturas de concreto, sejam em edificações ou em obras de arte (pontes/viadutos). A barra de aço para armadura de concreto galvanizada por imersão a quente, que protege o aço contra a corrosão, é uma alternativa que resolve o problema na raiz, com eficácia e baixo custo.

**Palavras-chave:** concreto, barra, vergalhão galvanizado, galvanização

## Introdução

O concreto armado (reforçado) é um dos materiais de construção mais amplamente usado. Tem custo razoavelmente baixo, facilmente disponível, possui uma gama de propriedades e características adequadas para diversas aplicações na construção civil.

O concreto armado é resultado da união entre concreto simples e armadura de reforço em seu interior. A armadura de reforço constitui-se de barras de aço adicionadas na zona onde o concreto é solicitado à tração. Desse modo, o concreto e o aço trabalham em conjunto, uma vez que, o concreto, resiste aos esforços de compressão, e o aço, absorve os esforços à tração cujo concreto apresenta baixa resistência.

Porém, um dos principais pontos a ser observado, é garantir a plenitude da barra de aço destinada à armadura de concreto armado, pelo aumento de sua vida útil e assim manter a eficiência do concreto armado.

Atualmente no Brasil temos presenciado com mais frequência os colapsos de estruturas de concreto armado em edificações e obras de arte (pontes/viadutos) em função da corrosão das armaduras, diagnosticadas pela falta da manutenção, que gera custos. Esta falta de manutenção pode ser mitigada pela galvanização por imersão a quente das barras de aço destinada à armadura de concreto armado.

## Desenvolvimento

### O problema da corrosão das barras de aço para armadura de concreto

O concreto é um material poroso constituído de pequenos poros e capilares, através dos quais os elementos corrosivos como a água, os íons de cloreto, o oxigênio, o dióxido de carbono e outros gases se infiltram na matriz de concreto, eventualmente atingindo as barras de aço destinadas à armadura de concreto armado.

Para cada mistura de concreto, em alguns níveis críticos de elementos corrosivos, o aço despassiva-se e a corrosão se inicia, conforme ilustrado na figura 01. O concreto por si só

exibe boa resistência de compactação, mas possui pouca resistência de tensão, geralmente cerca de um décimo da resistência de compactação. Quando o ferro se oxida, ocorre uma diminuição da seção da armadura e os produtos resultantes da corrosão são de 2-10 vezes mais volumosos do que o aço original, o que gera tensão que excede a capacidade de tensão do concreto ao seu redor, fazendo-o rachar e fragmentar-se, conforme ilustrado na figura 02. Após a rachadura ter ocorrido, a capacidade estrutural do elemento pode ser comprometida, podendo ser necessários reparos caros para ampliar sua vida útil.

O método mais comum é assegurar que o concreto que cobre o reforço (a barra) seja da espessura adequada e que o concreto em si seja denso e impermeável.

Como muitas vezes a realidade em campo não condiz ao que foi projetado, uma linha de defesa importante é proteger da corrosão a própria barra, por galvanização por imersão a quente, que consiste no revestimento do zinco no aço/ferro. O aço é imerso em um banho de zinco fundido a uma temperatura entre 440 °C a 480 °C, o que resulta em uma reação metalúrgica entre o zinco e o ferro, isto é, o zinco penetra na rede cristalina do metal base, resultando em uma difusão intermetálica, ou seja, na formação de ligas de Fe-Zn, camadas intermetálicas, na superfície de contato do substrato.

Este processo torna o revestimento integrado desde o metal base até a superfície, onde a camada formada é de zinco puro, isolando as barras de aço do concreto ao redor.

As barras galvanizadas por imersão a quente oferecem muitas vantagens sobre as barras convencionais sem proteção, incluindo:

- O aço fica protegido contra a corrosão antes de ser imerso no concreto.
- O zinco possui limite de concentração de cloreto mais alto para corrosão que o aço descoberto. Isso retarda significativamente o início da corrosão, a partir da infiltração de cloretos, na superfície das barras por galvanização por imersão a quente.

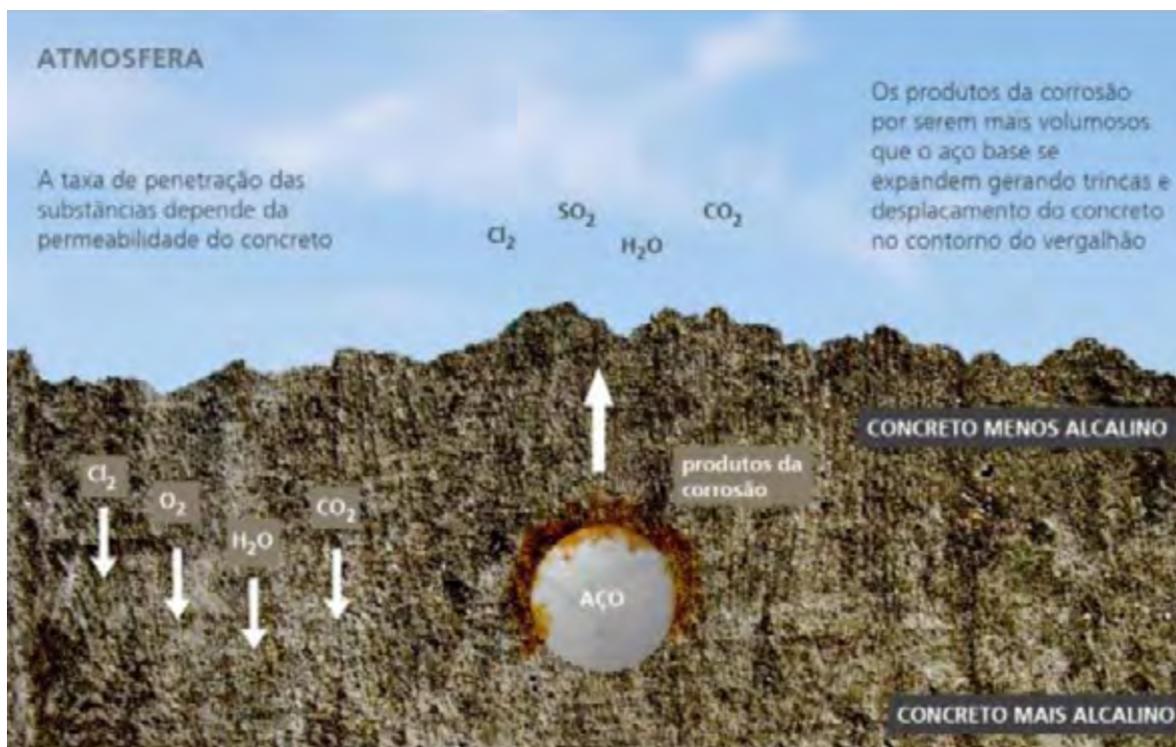


Figura 01: Corrosão na armadura de aço

- A velocidade de corrosão do zinco no concreto é menor que a do aço, e os produtos de corrosão que o zinco forma não provocam tensões internas tão prejudiciais como as que o aço produz, quando sofre corrosão dentro do concreto. Como resultado o concreto não sofre deterioração.
- Os revestimentos de zinco proporcionam, além da barreira, uma proteção catódica, isto é, o zinco apresenta um potencial de redução menor que o ferro, se oxidando preferencialmente ao aço, o que significa que se ocorrer alguma imperfeição ou rachadura no revestimento, expondo o aço, a corrosão se concentrará preferencialmente na camada do zinco circundante, proporcionando assim uma proteção eletroquímica ao aço exposto. Desta forma, o revestimento galvanizado não pode ser debilitado pelos produtos resultantes da corrosão do aço, como ocorre no caso de outros revestimentos tipo barreira, como por exemplo, o epóxi.
- A maior resistência à corrosão das barras por galvanização por imersão a quente



Figura 02: Concreto fragmentado.

permite uma maior tolerância à diversidade e aplicações do concreto.

- Sua aplicação está padronizada de acordo com normas internacionais (ASTM A767, ISO 14657), que asseguram a qualidade e as características de aplicação.

- No Brasil existe a norma ABNT NBR 16300:2016 - Galvanização por imersão a quente de barras de aço para armadura de concreto armado - Requisitos e métodos de ensaio.
- As barras de aço para armadura de concreto armado galvanizadas por imersão a quente atendem aos requisitos da norma NBR 7480:2007 - aço destinado a armaduras de concreto armado.

### **Performance das barras de aço para armadura de concreto galvanizadas por imersão a quente no concreto**

- Relação água/cimento: entre 0,4 e 0,5 para concreto armado em ambiente marinho é a recomendação de norma ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.
- Quanto menor esta relação, menor a porosidade do concreto, portanto menos permeável;
- Embora o hidroxizincato de cálcio não evite a penetração do íon cloreto, a superfície do vergalhão galvanizado é 2,5 vezes mais tolerante a cloretos do que vergalhão sem proteção.
- Zinco em soluções fortemente alcalinas (> pH 12,5) é passivado por formação de camada de cristais aderentes - hidroxizincato de cálcio (CaHZn).
- A formação do hidroxizincato de cálcio (CaHZn) começa imediatamente em contato com a solução de cimento molhado, reduzindo assim o valor do pH ao redor de 9,0, levando o zinco ao seu estado passivado, portanto cessando sua oxidação, estabilizando o mesmo e isolando-o do ambiente circundante. A reação com zinco cessa logo que o concreto endurece.
- As barras de aço galvanizadas não sofreram com os efeitos de elementos ácidos produzidos pela carbonatação à medida que o concreto envelhece, pois, o zinco tem uma faixa de pH de passivação, Ph entre 06 e 12) muito maior que o aço.

- O hidroxizincato de cálcio é um produto fibroso, apresenta uma elevada adesão química ao concreto, o que resulta na elevada aderência ao concreto.
- Há evidências que sugerem que a difusão dos produtos resultantes da corrosão do zinco ajuda a preencher os espaços porosos na interface concreto/vergalhão, tornando essa área menos permeável e ajudando a reduzir o transporte de substâncias agressivas (como os cloretos) através desta interface, que dá acesso ao revestimento de zinco.

### **Aderência da barra de aço galvanizado por imersão a quente ao concreto**

- A aderência das barras galvanizadas ao concreto não é menor do que a dos vergalhões sem revestimento; e em muitos casos é ainda melhor. A média do coeficiente de conformação superficial,  $\mu=1,8$  atende aos requisitos da norma ABNT NBR 7480 - Aço destinado às armaduras de concreto armado (mínimo  $\mu = 1,5$  para  $\varnothing \geq 10\text{mm}$  para categorias CA50 e CA60). Isso permite utilizar as mesmas especificações de projeto no concreto armado (tamanho das barras, comprimentos das sobreposições, etc.), que se aplicam no caso das barras sem proteção. Os dados acima são resultados de ensaios realizados, em agosto de 2013, ensaios no laboratório Falcão Bauer.

### **Evolução de hidrogênio**

Alguns hidrogênio nascente ocorre por reação do zinco com a pasta de cimento alcalina, sendo mais uma reação catódica do processo. A evolução cessa quando a pasta endurece.

O hidrogênio nascente sobre o zinco, neste caso, não migra para dentro, não atingindo o aço, pois a difusibilidade do hidrogênio nascente no zinco é bastante pequena, em torno de três vezes menor que o valor observado sobre o aço. Assim o aço permanecerá íntegro.

### **Presença de outros metais no concreto**

Uma consideração adicional ao usar o aço galvanizado é a possibilidade de estabelecer

conexões bimetálicas entre o zinco e o aço sem revestimento. O aço galvanizado não deve ser unido a grandes áreas de aço sem revestimento, cobre ou outros metais, a menos que se aplique isolamento adequado. Arames para amarração, suportes e outras barras também devem ser galvanizados.

### **Práticas no campo das barras de aço para armadura de concreto galvanizadas por imersão a quente no concreto**

É recomendado consultar o Anexo B - Diretriz para a prática no campo, da ABNT NBR 16300:2016 - Galvanização por imersão a quente de barras de aço para armadura de concreto armado - Requisitos e métodos de ensaio.

### **Dobra das barras de aço para armaduras de concreto galvanizadas por imersão a quente**

As barras de aço para armaduras de concreto galvanizadas por imersão a quente, conforme norma americana ASTM A767:

- Apresentam desempenho aos esforços de tração similar aos das barras nus. O processo da galvanização por imersão a quente não afeta as propriedades mecânicas do aço para o concreto armado.
- Dobra após a galvanização, a presença de rachaduras e descamação do revestimento do zinco na área de curvatura não devem ser motivos de rejeição. A tendência de rachaduras do revestimento de zinco aumenta com o diâmetro da barra e com a intensidade e taxa de curvatura.
- Eventuais danos podem ser reparados com tinta rica em zinco (mín. de 85% de zinco) ou pelo processo de metalização de zinco.

### **Manuseio e armazenamento**

Os vergalhões galvanizados podem ser armazenados na intempérie sem afetar seu desempenho anticorrosivo. Isso permite o armazenamento de tamanhos-padrão de modo que estejam disponíveis segundo demanda. Outra característica do vergalhão galvanizado é que

pode ser manipulado e disposto da mesma maneira que o vergalhão sem revestimento. Isso devido à alta resistência à abrasão que possui o material galvanizado por imersão a quente.

### **Soldagem durante a instalação**

Soldar vergalhões galvanizados não é um problema desde que sejam tomadas as precauções necessárias, como aplicar na região da solda tinta com teor mínimo de 85% de zinco ou aspersão térmica de zinco - metalização. O procedimento inclui utilizar velocidades de solda mais lentas e manter uma ventilação adequada.

### **Reparos no revestimento durante a instalação**

Danos ao revestimento em áreas soldadas, dobradas ou bordas cortadas não afetarão significativamente a proteção oferecida pela galvanização se a área exposta for pequena em relação à área galvanizada, conforme ilustrado na figura 03, abaixo.



Figura 03: Vergalhão Galvanizado a fogo

Atualmente as siderúrgicas oferecem o fornecimento das barras de aço para armaduras de concreto armado já dobrado e cortado nas dimensões do projeto. É recomendado realizar a galvanização por imersão a quente nestas condições para aumentar a eficiência do revestimento do zinco nas barras.

### **Aplicações das barras de aço para armadura de concreto galvanizada por imersão a quente**

Existem muitos exemplos ao redor do mundo onde as barras galvanizadas têm sido usadas

com sucesso em diversos tipos de edificações, estruturas e construções de concreto reforçado, incluindo:

- pisos e pavimentos de pontes em concreto reforçado;
- torres de resfriamento e chaminés;
- armazéns para armazenagem de carvão;
- revestimentos de túneis, tanques e instalações para armazenagem de água;
- cais, quebra-mares e plataformas marítimas;
- marinas e ancoradouros flutuantes;
- diques e balaustradas costeiras;
- fabricas de papel, plantas de saneamento e tratamento de águas residuais;
- instalações industriais e plantas de produtos químicos;
- equipamentos, fixações para autoestradas e barreiras de proteção;
- postes e torres de transmissão de energia feitos em concreto.

Alguns exemplos de países que possuem estruturas importantes utilizando o vergalhão galvanizado são: Austrália, Nova Zelândia, Índia, Japão, Estados Unidos, Canadá, Londres, Itália, Holanda.

Desempenho similar das barras de aço galvanizadas foi obtido nas Ilhas Bermudas, o que confirma a durabilidade a longo prazo do concreto armado com as armaduras galvanizadas, em ambientes marítimos.

Há mais de 60 anos, todos os cais, quebra-mares, pisos de pontes, subestruturas e outras infraestruturas nas Bermudas são regularmente construídos com barras de aço galvanizadas. Um exame detalhado das amostras do concreto dessas estruturas revelou que os produtos resultantes da corrosão do zinco migraram para uma distância considerável (cerca de 0,4mm), a partir da interface zinco/concreto, para o interior da matriz do concreto circundante, sem produzir nenhum efeito visível no concreto.

## Discussões e Conclusões

### A experiência no Brasil

Veja abaixo as obras nacionais que foram utilizadas barras de aço para armadura de concreto galvanizada por imersão a quente.

- 2008 - Museu Iberê Camargo - Porto Alegre/RS - Figura 04 - 100% em vergalhão galvanizado por imersão a quente



Figura 04: Museu Iberê Camargo

- 2012 - Elevado da perimetral - projeto porto maravilha - RJ - 1ª Especificação de vergalhão galvanizado para obra pública no Brasil
- 2013 - MAR - Museu de Arte do Rio de Janeiro - Figura 05. Utilizado mais de 80 toneladas de vergalhão galvanizado para o concreto armado e 37 colunas em aço galvanizado, para sustentação da laje que simula uma marola.



Figura 05: Museu do MAR

- 2017 - Instituto Moreira Sales - São Paulo SP - 100% em vergalhão galvanizado por imersão a quente



Figura 06: Instituto Moreira Sales

A galvanização por imersão a quente é um investimento pequeno, mas muito importante. É usada exaustivamente em todo o mundo, todos os anos, para proteger milhões de toneladas de aço contra a corrosão. A galvanização por imersão a quente é, portanto, um serviço

amplamente disponível, com um custo muito competitivo em relação a outros sistemas de proteção dos vergalhões de aço. Quando comparado ao custo total da construção ou da edificação, e aos enormes custos potenciais associados à manutenção prematura do concreto danificado ou falhas da estrutura, o custo adicional pago pela moldura galvanizada é muito pequeno e plenamente justificado.

Estudos recentes apresentaram que considerando o custo total da obra, o aumento pela utilização de barras de aço para armadura de concreto galvanizadas por imersão a quente é da ordem de 1% a 3%.

### Referências

IZA - International Zinc Association

ICZ - Instituto de Metais Não Ferrosos

### Sobre o Autor

Ricardo Suplicy Goes é engenheiro mecânico, pós-graduado em Projetos Automotivos pela FEI/SP, em 1992 e MBA em Gestão Empresarial pela FGV, em 2007. Atuou na empresa Mercedes-Benz do Brasil nas áreas da Engenharia Experimental e Marketing. É gerente executivo do ICZ desde 2010, onde atua no desenvolvimento de mercado dos metais não ferrosos para os associados.

# Cursos de corrosão e proteção anticorrosiva oferecidos pela ABRACO buscam capacitar mais profissionais na área

Nessa edição, foram entrevistados alguns instrutores dos cursos oferecidos pela ABRACO: Laerce de Paula Nunes, Hermano Jambo, Roberto Mariano, Victor Silva e Segehal Matsumoto. Esses representantes do corpo docente da Associação discutiram alguns métodos de ensino e aprendizagem aplicados aos alunos

O estudo da corrosão no Brasil teve início na década de 50, estimulado pela PETROBRAS que incluiu esta matéria no programa do seu curso de Treinamento de Engenheiros na área de Manutenção de Equipamentos e Refinarias, devido à necessidade de compreender o processo natural em que os materiais são deteriorados por fatores ambientais, podendo ser eles metálicos e não-metálicos. A corrosão pode acarretar prejuízos econômicos e sociais para as grandes indústrias e a sociedade em geral, uma vez que, ao longo dos anos, é

inevitável que a degradação venha acontecer, atingindo até mesmo automóveis e prédios, onde quer que existam materiais metálicos. No entanto, o aprofundamento no assunto está sendo primordial para aumentar os índices de proteção dos materiais com o uso de técnicas que retardam ou impedem as reações químicas dos processos corrosivos. Um dos maiores investimentos e preocupações da ABRACO (Associação Brasileira de Corrosão), é a respeito do ensino da corrosão. Inclusive a Associação dispõe de vários cursos sobre o assunto, além dos trabalhos que vêm desempenhando durante os 50 anos de sua existência.

De acordo com Laerce Nunes, para trabalhar nessa área e evitar que a corrosão ocorra, é necessário ao profissional conhecimento e experiência. Segundo o engenheiro, os cursos da Associação são muito úteis na formação das pessoas. “Ao longo de sua história, a ABRACO tem incentivado os autores a elaborarem livros sobre corrosão, proteção e seu controle, o que é extremamente eficaz na divulgação do conhecimento e, portanto, no bom desempenho das suas aulas, cumprindo de forma eficiente os seus objetivos”, destacou o engenheiro.

Segundo Hermano Jambo, um mentor deve desenvolver um “jogo de cintura” para buscar o conhecimento ou um conceito necessário em

determinada área, aprimorá-lo e dosá-lo no momento certo da explicação. Ou seja, lembrar o conceito aprendido, embora esquecido; ensinar, se necessário, o conceito de forma estritamente suficiente e quebrar os paradigmas adquiridos. “A motivação é a única forma de ensino da corrosão e para tal o instrutor deve ter em mãos uma grande gama de exemplos práticos suportados com uma teoria clara e consistente”, observou.

Além disso, Hermano acrescentou que o assunto corrosão sendo uma área multidisciplinar, envolvendo uma grande gama de conhecimentos tais como química, metalurgia, ciências dos materiais e até mesmo eletrônica, o instrutor deve saber cativar o aluno nas áreas que ele menos gosta e ainda reforçar os conhecimentos nas áreas afins, do aluno. “Não é uma tarefa fácil posto que os alunos, ao longo de sua formação, adquirem conhecimentos incompletos e também criam paradigmas que influenciam grandemente no seu aprendizado e, notadamente, na sua boa vontade de adquirir conhecimentos em áreas novas”, completou o especialista.

Já para Roberto Mariano, um professor que atua nesta área, além de ter as características necessárias, deve ter uma boa didática, capacidade

de transmitir conhecimentos, utilizar material áudio visual de muita qualidade e paciência. “O profissional precisa ter conhecimento sobre as técnicas, procedimentos e normas técnicas. Precisa ser ético e ter vasta experiência prática. Também é importante que seja um profissional de capacidade reconhecida pelo mercado, porque a expectativa dos alunos é muito alta e as informações são muito questionadas durante as aulas”, ressaltou o físico.

Victor Silva prefere abordar em suas aulas que a corrosão deve ser associada a uma perda, a um desgaste, pois muitos profissionais falam apenas em oxidação. Dessa forma, ele destaca que nem sempre a oxidação é considerada como um processo corrosivo. “Um exemplo, o aço inoxidável sofre um processo de oxidação para se tornar ‘inoxidável’, ou seja, neste caso a oxidação não é igual a corrosão. Então, a corrosão pode e deve ser atribuída como um processo de desgaste”, salientou o especialista em metalurgia e materiais.

## Corrosão e suas consequências

Laerce Nunes definiu a corrosão como “um fenômeno natural que consiste no retorno dos



materiais metálicos ao estado de menor energia em que se encontravam anteriormente ao seu processo de obtenção. Os processos corrosivos podem ser de natureza química ou eletroquímica e assumem diversos nomes, de acordo com o mecanismo específico, em função do meio ou ainda das condições de corrosividade”.

Em relação às consequências, o engenheiro metalúrgico citou que são decorrentes da perda de material, ou seja, prejuízo na integridade, vazamentos (no caso de dutos), riscos à segurança das pessoas e danos ambientais. Segundo Laerce, ao se tratar de um fator da natureza, para mantê-los na condição metálica é necessário dispendir energia. “As técnicas de proteção e controle da corrosão são recursos justamente para manter a estabilidade do material, evitando desgaste e, portanto, consumindo energia para manutenção do material nesta condição metálica”, explicou o presidente do Conselho.

Segehal Matsumoto preza por esclarecer para seus alunos as diferenças entre corrosão, ferrugem e oxidação. “Corrosão é um termo genérico que é definido como processo de deterioração que sofrem os materiais, geralmente metálicos, causados por reação química e/ou eletroquímica com o meio. Ferrugem é um caso específico de corrosão que ocorre com o metal ferro ou aço carbono que reage com a água e oxigênio. Oxidação também é genérico que é definido como processo de reação química com o oxigênio. Uma tinta alquídica cura através de oxidação, ou seja, a resina da tinta alquídica reage com o oxigênio. Uma superfície galvanizada pode sofrer corrosão e o processo pode não ser uma reação química com água e oxigênio. A reação do zinco pode ser com gás carbônico ou gás sulfídrico presentes na atmosfera”, ensina o químico.

Além disso, Matsumoto define que a corrosão é o composto presente na superfície do aço carbono exposto, mais importante, e é indicador de que está havendo deterioração do metal e pode estar colocando em risco a estrutura. “Entender o processo químico de corrosão pode ser um pouco difícil, e as minhas aulas são referentes ao combate à corrosão e como evitá-la, que é mais fácil”, enfatiza.

# Monitoração da Corrosão

Em entrevista à Revista Corrosão & Proteção, os instrutores Matsumoto e Hermano dissertaram sobre o tema “monitoração da corrosão” e, além de explicar o assunto, abordaram as técnicas utilizadas com os profissionais da área, dentro da sala de aula.

**É muito comum se chamar a corrosão de ferrugem e de oxidação. Como você aborda isso nas suas aulas, principalmente quando se trata de uma plateia de pouco conhecimento?**

**Matsumoto:** Corrosão é um termo genérico que é definido como processo de deterioração que sofrem os materiais, geralmente metálicos, causados por reação química e/ou eletroquímica com o meio. Ferrugem é um caso específico de corrosão, que ocorre com o metal ferro ou aço carbono que reage com a água e oxigênio. Oxidação também é um termo genérico, definido como processo de reação química com o oxigênio. Uma tinta alquídica cura através de oxidação, ou seja, a resina da tinta alquídica reage com o oxigênio. Uma superfície galvanizada pode sofrer corrosão e o processo pode não ser uma reação química com água e oxigênio. Sendo assim, fica fácil aos alunos entenderem a ferrugem e como evitá-la. Basta isolar o aço carbono da água e do oxigênio que estão presentes na atmosfera. O que torna o meio agressivo ao ferro é a presença de eletrólitos. Os eletrólitos mais comuns são as soluções contendo cloretos,

sulfatos e carbonatos. Entender o processo químico de corrosão pode ser um pouco difícil, e as minhas aulas são referentes a combate à corrosão ou como evitá-la, que é mais fácil. Em pintura industrial, proteger o aço é uma tarefa disciplinada, agora é preciso aprender a proteger a pintura. Quase toda pintura resiste à agressividade da atmosfera terrestre. A ferrugem está quase sempre presente em substratos de aço carbono pintado e a razão da ocorrência da ferrugem não é porque a pintura não resistiu ao ambiente exposto. O especificador sempre recomenda uma pintura que resista ao meio agressivo presente na atmosfera. Às vezes pode ocorrer falhas na aplicação das tintas e não isolar corretamente o substrato metálico do meio. São falhas por erro humano ou presença de porosidades que não são detectados em inspeção visual. Geralmente, a ferrugem ocorre quando o isolamento do aço carbono com o ambiente através de barreira física é rompido por danos mecânicos. A velocidade da corrosão é relativamente baixa e, se uma estrutura entra em colapso e quebra, normalmente informam que a causa é corrosão. Na verdade, na maioria dos casos, a causa principal deste colapso na estrutura, é a falta de manutenção da pintura.

### Como pode ser feito o monitoramento da corrosão?

**Hermano:** É possível realizar a monitoração da corrosão basicamente através de três métodos: métodos analíticos; ensaios não destrutivos e métodos corrosionais. Este último, por sua vez, se divide em eletroquímicos e não eletroquímicos. Os métodos analíticos baseiam-se na medição de íons ou substâncias que, de alguma forma, estão associadas à corrosão. Estas medições são, na maioria das vezes, feitas em laboratório através de amostras colhidas na unidade industrial. Entretanto, alguns métodos são fáceis de ser adaptados ao campo:

- medidas de concentração de íons. Na maior parte das vezes, estes íons são metálicos, tais como  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  etc. As concentrações destes

íons nos indicam a severidade do processo corrosivo e, em alguns casos, até mesmo a taxa de corrosão;

- medidas de pH. A medição de pH é um método relativamente barato, que se presta à avaliação do processo corrosivo e não à medição da taxa de corrosão. Em alguns casos, contudo, este método pode ser extremamente útil, pois é facilmente realizado no campo;
- medidas de  $O_2$ . Em alguns casos, este método, que possui basicamente as mesmas limitações da medição de pH, pode ser útil nos casos em que o processo corrosivo é controlado pela concentração de oxigênio, como por exemplo, em água de caldeiras;
- medidas de atividade microbiológica. A participação da ação biológica nos processos corrosivos pode ser bem maior do que pensamos. Em sistemas de água de refrigeração, por exemplo, a ação corrosiva por bactérias é, na maioria das vezes, a principal causa de danos. A forma tradicional de controle de bactérias é a adição de biocidas à água de refrigeração. Estes biocidas, tais como o cloro, também podem ser extremamente corrosivos. Desta forma, o uso de analisadores biológicos é de extrema importância, pois, além de permitirem o controle da população de bactérias, possibilitam o uso otimizado dos biocidas que, além de caros, podem ser também corrosivos e poluentes.

Os ensaios não destrutivos (ENDs) também podem ser um valioso método de monitoração da corrosão, pois podem indicar a perda de espessuras ou outros danos oriundos do processo corrosivo. Como exemplos destes métodos, podemos citar o ultrassom, correntes parasitas, radiografia, partículas magnéticas e termografia.

Os métodos corrosionais são divididos em não eletroquímicos e eletroquímicos:

Os métodos corrosionais não eletroquímicos baseiam-se na perda de massa de espécimes propriamente projetados, que podem indicar diretamente ou não, a taxa de corrosão do sistema estudado. Como por exemplo, temos:

- **cupões:** são amostras de material idêntico ao que cuja taxa de corrosão queremos verificar. Estes são instalados no meio corrosivo e, após algum tempo, são medidos e pesados. Esta técnica é a base da medição por massa de referência, também chamada de perda de massa, que permite calcular a perda de espessura e daí chegar a taxa de corrosão;
- **sensores de resistência elétrica:** esta técnica consiste na medição da variação de resistência de uma amostra devido à sua perda de espessura por corrosão. Esta técnica, não deixa de ser também um cupom eletrônico;
- **sentinelas:** são pequenos furos que deixam passar produtos, de maneira controlada e segura, quando a taxa de corrosão atinge certa magnitude. Outro tipo de sentinela pode ser aquela feita com fios ligados por ohmímetros, que acusam circuito aberto quando a corrosão o consome. Estes métodos não são muito utilizados atualmente.

Já os métodos eletroquímicos baseiam-se em medidas eletroquímicas tomadas diretamente no fluido de processo e podem ser:

- **medições de potencial:** feitas por eletrodos e voltímetros com o intuito de se verificar o potencial de eletrodo do metal no meio. Este método pode ser muito simples e fornece muitas informações a respeito do processo corrosivo;
- **extrapolação das retas de Tafel:** com o uso das técnicas de polarização anódica e catódica, podemos desenvolver um método gráfico

que nos permite calcular a taxa de corrosão com pequena margem de erro;

- **resistência de polarização linear:** é derivada da extrapolação de Tafel e permite a sua utilização diretamente em plantas de processo;
- **amperometria de resistência nula:** consiste na utilização de amperímetros de alta impedância de entrada, o que permite avaliar em tempo real as correntes envolvidas no processo corrosivo;
- **impedância eletroquímica:** consiste na perturbação de uma amostra, com uma pequena variação de corrente ou potencial em torno de um determinado valor. É um método muito útil no estudo de pinturas e inibidores de corrosão;
- **análise harmônica:** consiste na variação cíclica de potencial; é muito pouco utilizada atualmente;
- **ruído eletroquímico:** técnica muito promissora e já bastante utilizada. Consiste na interpretação das variações espontâneas, de pequena amplitude, de corrente ou potencial ao longo do tempo. Para esta técnica, utilizam-se os mesmos equipamentos usados na amperometria de resistência nula e presta-se à monitoração da corrosão em tempo real;
- **medidas de permeação de hidrogênio:** são utilizadas em meios cujo ataque se dá basicamente por reações de redução de hidrogênio. Podem ser volumétricas, com o uso de colunas manométricas ou manômetros, ou eletrônicas.

Conheça as vantagens  
de fazer parte da ABRACO

Saiba mais:  
[marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)

# Como a tecnologia epóxi amina alquilada traz vantagens no combate à corrosão sob isolamento

**A** Corrosão sob Isolamento (CUI, sigla em inglês para *Corrosion Under Insulation*) é um problema único e desafiador, embora frequente, com o qual nos deparamos com sua evidência em tubulações de muitas plantas industriais ao redor do mundo – o que resulta em elevadas despesas a empresas e falhas potenciais que podem ser catastróficas às operações. Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias como epóxi amina alquilada é um grande passo para a resolução dessa adversidade. Uma grande vantagem na contraposição às tecnologias existentes no mercado é o fato de apresentar uma maior tolerância às espessuras maiores que as usuais, além de processo de cura mais rápido, proporcionando também uma maior produtividade com um menor intervalo de repintura. Empresas dos segmentos de óleo e gás, energia e mineração já têm se beneficiado desse avanço.

## Por dentro do problema

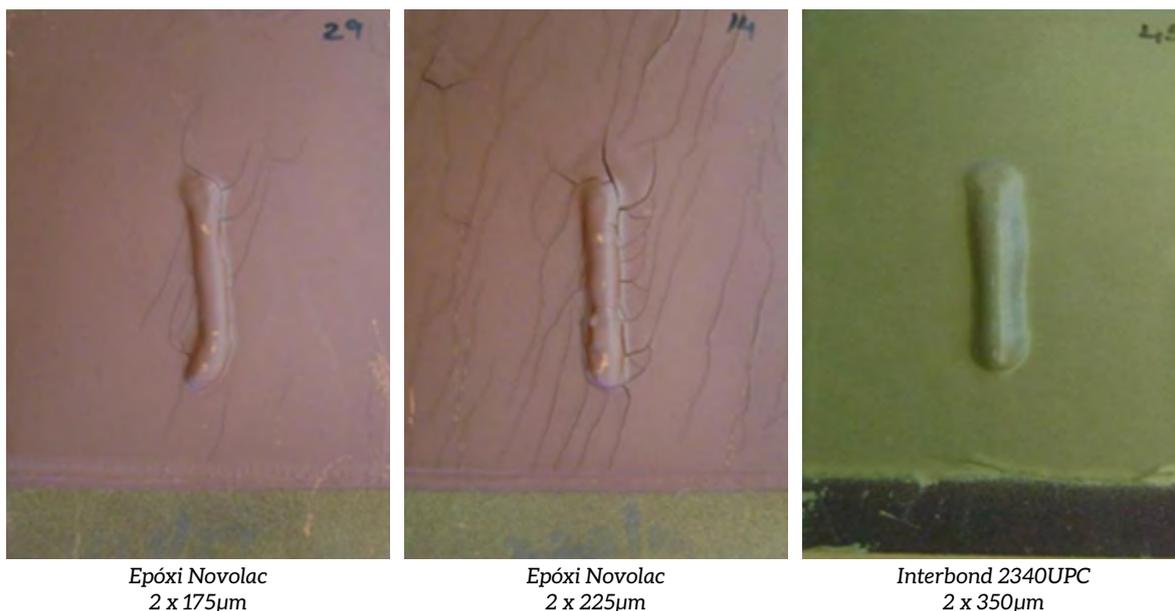
O CUI é um processo bem compreendido e, em essência, ocorre quando a água, o oxigênio

e os contaminantes presentes na poluição atmosférica em geral penetram o isolamento que envolve as superfícies do aço, nos quais a temperatura pode estar eventualmente na faixa de -5°C a +120°C. Estudos<sup>1</sup> mostram que a taxa de corrosão praticamente dobra para cada intervalo de 15-20°C de aumento de temperatura entre 0°C e 100°C, tornando a corrosão mais agressiva.

Como sabemos, o maior risco de corrosão é entre +60°C e +120°C: nessas condições a perda de massa do aço pode estar entre 1,5 e 3,0 mm/ano, de acordo com a NACE SP0198. Isso reflete uma taxa de corrosão que é mais de 20 vezes maior do que a corrosão atmosférica.

É interessante notar que as propriedades de barreira do isolamento térmico podem causar uma ligeira pressurização de gases de tal forma que a temperatura de ebulição da água seja elevada acima seu valor normal. Além disso, embora o isolamento térmico proporcione uma função essencial aos processos químicos, petroquímicos e de refinaria, infelizmente materiais

Figuras: o teste consiste em aquecimento por 8 horas a 200°C e, em seguida, deixando esfriar até uma temperatura de 25°C por 16 horas. O teste se repete por 5 vezes. Veja resultados abaixo.



isolantes são invariavelmente porosos, propensos a danos mecânicos, e conspiram contra tubulações e vasos, ao abrigar umidade, escondendo, assim, atividades químicas de ataque ao substrato.

Nos pontos nos quais existem a oportunidade de entrada de umidade, os materiais de isolamento normalmente absorvem e seguram a água onde ela é menos desejada, ou seja, contra o substrato. A fonte da umidade varia, digamos, da condensação que ocorre devido a um estágio de resfriamento rápido no processo cíclico – ou simplesmente uma interrupção de manutenção – à chuva que entra por meio de um vazamento no isolamento. Para piorar a situação, quando a umidade passa pelo isolamento e coincide com ciclos térmicos repetitivos, a concentração de contaminantes corrosivos ocorre prontamente devido ao microambiente criado na interface isolamento/substrato.

Ainda que as tecnologias tenham melhorado significativamente para excluir a água de vários tipos de isolamento, em última análise, as barreiras que cercam o isolamento nunca podem ser garantidas como impenetráveis. A consequência disso tudo? Os prejuízos vão desde ineficiência de processos, substituição não

planejada de equipamentos, produção perdida e custos ambientais potenciais de vazamentos ou derramamentos, até impactos na saúde e segurança dos ocupantes das instalações.

### Nova alternativa no Brasil

Baseado na tecnologia epóxi de amina alquila-da, o Interbond 2340UPC, desenvolvido pela AkzoNobel no Reino Unido, permite uma cura rápida e em baixa temperatura de até -5°C, bem como ampla tolerância às espessuras elevadas, maiores que as usuais, provocadas por aplicações múltiplas – o que é uma grande vantagem em relação às tecnologias existentes no mercado. Revestimento de alta temperatura, fornece desempenho de corrosão de acordo com a norma ISO12944-9 (antiga ISO20340) e oferece melhorias de produtividade, quando comparado aos sistemas tradicionais de silicato de zinco e epóxi novolac, com limitações amplamente reconhecidas de uma garantia de qualidade e do ponto de vista de produtividade na aplicação, além dos custos mais elevados pela sensibilidade da espessura do filme seco e potencial para fissuras em serviço, bem como velocidades de secagem (curas lentas, particularmente a temperaturas mais baixas, <10°C).

Exxon, Shell, Chevron, BP, SBM, entre outras empresas no segmento de óleo e gás no exterior, já têm constatado os benefícios dessa inovação da AkzoNobel, os quais poderão ser igualmente testados por companhias no País a partir do segundo semestre. O produto protege tubulações de processo, válvulas e vasos operando entre as temperaturas de -196 °C a 205° C – com picos de 230°C – em ambientes até CX, nível “Extreme” conforme a ISO12944:2018. Redução de paralizações não programadas, melhor eficiência de produto, com um menor intervalo de repintura, padronização e simplificação estão entre os ganhos apresentados.

Essa nova tecnologia permite uma padronização e redução de complexidade de esquemas de pintura, pois pode ser usada em diferentes situações, nas quais são utilizados os vários esquemas, tais como epóxi, epóxi novolac e etil silicato.

O significativo resultado de proteção anticorrosiva em situações de ciclo térmico, assim como em condições de alta temperatura, é um diferencial. Isso porque a tecnologia permite um comprovada barreira polimérica de ligações químicas de alta reticulação, adequada na proteção aos contaminantes corrosivos presentes no ambiente, e também resistência à exposição a água quente e vapor de água, com a vantagem de uma flexibilização interna que proporciona

uma maior resistência ao craqueamento em espessuras elevadas, na comparação com as opções atuais.

Os revestimentos para combater CUI devem ter várias características que funcionem corretamente em combinação uns com os outros. Eles não devem se degradar nas altas temperaturas de operação dos processos, devem resistir às tensões induzidas de expansão térmica e contração de aço e fornecer uma barreira eficaz. Além disso, vale lembrar que os aspectos práticos de uma preparação de superfície adequada desempenham um papel fundamental na performance do revestimento.

Sintetizando, a melhor solução para evitar a Corrosão sob Isolamento (*Corrosion Under Insulation - CUI*) é usar um sistema de revestimento de alta performance.

## Referências

1. Goldie B, Kapsanis K., “Corrosion Under Insulation: Basics and Resources for Understanding”. JPCL July 2009, p.34. Bock PP, MeLampy MF. “Field Maintenance of Coating Systems”. JPCL April 2009, p.44. NACE SP0198.

### Arariboia Martins

Gerente de Especificação - AkzoNobel  
www.akzonobel.com  
www.international-pc.com



# Programação de cursos 2019

CURSOS	CIDADE	CH	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Inspetor de Pintura Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	96	04/05 a 27/07			09 a 21			
	São Paulo/SP	96							02 a 14
	Macaé/RJ	88		08 a 19				25/11 a 06/12	
	Vitória/ES	88			05 a 16				
	Jaraguá do Sul/SC	88							
	Dias D'Ávila/BA	88					21/10 a 01/11		
	Fortaleza/CE	88				30/09 a 11/10			
Inspetor de Pintura Nível 2	Rio de Janeiro/RJ	40						04 a 08	
	São Paulo/SP	40	24 a 28						
Intensivo de Inspetor de Pintura Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	40			19 a 23				
Encarregado de Pintura	Rio de Janeiro/RJ	40		22 a 26					09 a 13
Profissionais de Proteção Catódica Nível 1	Rio de Janeiro/RJ	40	03 a 07					25 a 29	
Básico de Pintura Industrial	Rio de Janeiro/RJ	8		20			19		
	São Paulo/SP	8							7
Básico de Corrosão	Rio de Janeiro/RJ	8				21			
Básico de Proteção Catódica	Rio de Janeiro/RJ	8						9	
Aulas Práticas para Inspetor N1	Rio de Janeiro/RJ	8	19		21	25	23	27	
Corrosão, Revestimento e Proteção Catódica	Rio de Janeiro/RJ	24	10 a 12						
	São Paulo/SP	24					14 a 16		
Corrosão: Fundamentos, Monitoração e Controle	Rio de Janeiro/RJ	24			26 a 28				

# Cepel e INT firmam acordo de cooperação técnica na área de corrosão

No dia 06 de fevereiro, o Cepel e o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) estabeleceram um acordo de cooperação técnica entre as instituições com o objetivo de realizar projetos de pesquisa de interesse do setor elétrico na área de corrosão microbiana e *biofouling* (*bioincrustação*). O acordo, que envolve o Laboratório de Corrosão do Centro e o Laboratório de Biocorrosão e Biodegradação (Labio) do INT, também visa ao compartilhamento de ensaios e conhecimento técnico relacionados com acúmulo e crescimento de colônias de microrganismos, algas e moluscos sobre estruturas submersas.

“Este acordo de cooperação técnica vai beneficiar ambas as instituições pela troca de experiências. O INT vai nos agregar conhecimento na área da biocorrosão, e nós vamos poder compartilhar a experiência do Cepel com inibidores de corrosão aplicados ao setor elétrico”, considera o pesquisador Alberto Ordine, responsável pelo Laboratório de Corrosão do Centro.

Dentre os trabalhos de pesquisa experimental desenvolvidos pelo Cepel na área, Alberto cita o relativo à aplicação de inibidores de corrosão em métodos de tratamento de superfície a base de água, que subsidiou a elaboração das Normas Eletrobras de Pintura Anticorrosiva. “Com base na experiência técnica adquirida no estudo, as Normas Eletrobras estabelecem que não se

deve usar inibidores de corrosão na água de hidrojateamento ou jateamento abrasivo úmido”.

O pesquisador acrescenta que trabalho teve continuidade, mostrando o desempenho de diferentes tipos de inibidores de corrosão, orgânicos e inorgânicos, sob o revestimento anticorrosivo. “O resultado da pesquisa evidenciou que existem inibidores que podem evitar a corrosão instantânea sem prejudicar o desempenho



anticorrosivo do revestimento. Como o uso de métodos de tratamento de superfície a base de água no setor elétrico vem crescendo, torna-se importante conhecer quais inibidores podem ser utilizados nesta condição, sem prejudicar o desempenho do revestimento anticorrosivo, gerando subsídios técnicos para a atualização das Normas”, destaca .

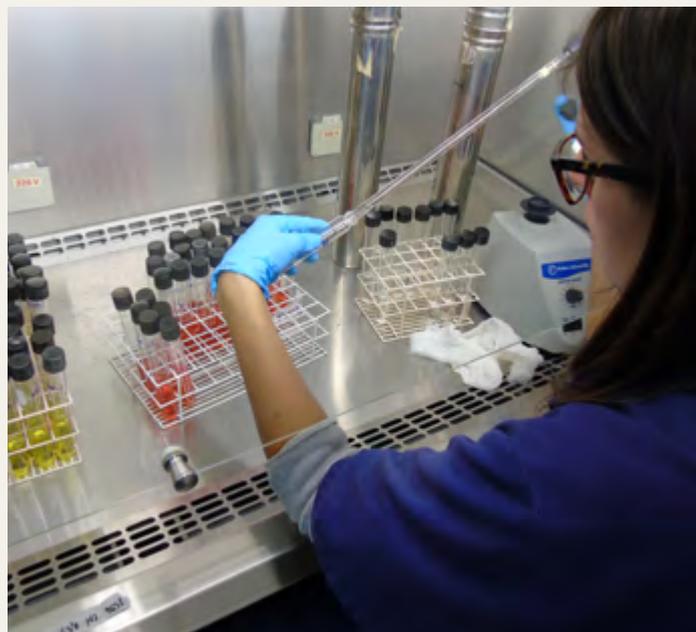
A bióloga Marcia Lutterbach e o engenheiro químico Walter Cravo Junior, ambos do Labio, também ressaltam a oportunidade de os dois centros de pesquisa trabalharem de forma cooperativa. “Esta parceria será de grande importância para as duas instituições. Para o Labio, diversificará os materiais e condições a serem estudadas [...] Para o Cepel, possibilitará a introdução de um conhecimento de biocorrosão que não deve ser desprezado em suas avaliações de corrosão. Vale destacar que este acordo vai gerar, também, uma importante troca de conhecimento e experiências entre os pesquisadores das duas instituições, resultando em orientações e publicações conjuntas. As duas instituições só têm a somar com esta parceria”, assinalam.

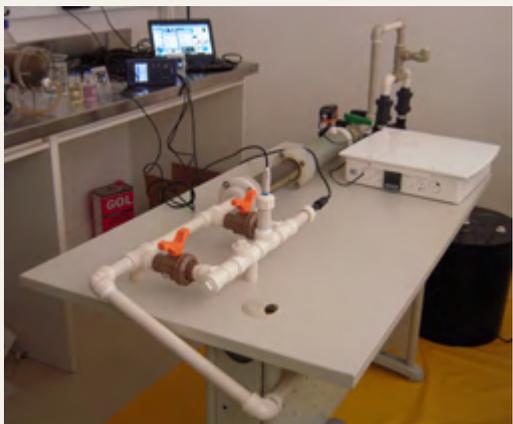
Eles também pontuam os benefícios para o setor elétrico: “O trabalho em conjunto permitirá que o setor elétrico, que possui ambientes favoráveis à biocorrosão, como solo, água e ar,

possa compreender melhor o fenômeno da biocorrosão e, desta forma, melhor prevenir as ações deletérias provocadas pelos microrganismos [...] Sabe-se, por exemplo, que superfícies metálicas enterradas em diferentes tipos de solo são acometidas pela ação de metabólitos corrosivos produzidos pelos microrganismos presentes neste solo. Como o solo, outros ambientes são propensos à presença de microrganismos e, conseqüentemente, ao fenômeno da biocorrosão”.

## Temas

De acordo com o pesquisador Elber Vidigal Bendinelli, do Laboratório de Corrosão do Cepel, o primeiro tema a ser abordado no acordo é o estudo de alternativas técnicas ecologicamente sustentáveis para o combate ao mexilhão dourado. “Este molusco, originário da Ásia, chegou acidentalmente a América do Sul em meados da década de 1990 e se tornou um grande problema para as empresas do Grupo Eletrobras, pois tem a capacidade de aderir a comportas, partes metálicas submersas e paredes de tubulações, causando aumento da perda de carga do sistema, desgaste precoce das bombas e, em alguns casos extremos, até obstrução total das tubulações”, afirma.





Elber destaca que a espécie já foi detectada em quase toda a região Sul do Brasil e em vários pontos do Sudeste e Centro-Oeste do país, principalmente nos lagos das grandes usinas hidrelétricas. “Por ter uma grande capacidade de reprodução e dispersão, além de praticamente não ter predadores na fauna brasileira, o mexilhão se espalha com rapidez, tornando-se, portanto, uma grande questão econômico-ambiental”, assinala.

Nesse contexto, o pesquisador acrescenta que o escopo do convênio Cepel-INT prevê o

desenvolvimento de novos biocidas ecologicamente sustentáveis para evitar a proliferação deste molusco no interior das tubulações e o estudo de novos tratamentos de superfície e de tintas anticorrosivas capazes de evitar a aderência do mexilhão dourado a superfícies metálicas submersas.

Outros possíveis temas a serem estudados no acordo são os inibidores de corrosão para pigmentos de tintas e os inibidores de corrosão para circuitos fechados em condições de fluxo.

## Sérgio Murilo do Amaral

Desde 1981, atuo na área de preparação de superfícies, pintura líquida e aplicações de diversos revestimentos anticorrosivos, sendo integrante da primeira turma de qualificação de inspetores da ABRACO em 1987, o qual agregou um ganho significativo em conhecimentos, tendo como instrutores somente pessoas de referência e pioneiros no seguimento.

Através desta qualificação, pude seguir carreira como Inspetor de Pintura nível II e pude conquistar tanto reconhecimento profissional quanto conquistas pessoais, desta forma só tenho a agradecer a Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) por ter tido participação na vida tanto no passado, presente e futuro, pois ainda estou ativo no mercado de trabalho.



Atualmente faço parte da equipe de profissionais da empresa Macseal Service Ltda, na função de Quality Control Coordinator, onde além das pinturas convencionais, também fazemos aplicações de revestimentos com tintas a pó, mais conhecida como FBE (Fusion Bonded Epoxy), em contratos com a Petrobras UO-BC, UO-RIO, estaleiro Jurong Aracruz entre outros.

ESPAÇO DO INSPECTOR



**GALVANIZAÇÃO A FOGO,  
uma solução versátil, sustentável  
e duradoura para proteger o  
aço contra a corrosão.**

Aumente a durabilidade de suas estruturas metálicas por meio da galvanização a fogo. Conte com o apoio de quem entende do assunto. **Consulte-nos!**



Jundiaí - SP:  
11 2152-7988  
vendas@bbosch.com.br

Farroupilha - RS:  
54 3039-9500  
vendasrs@bbosch.com.br

**bbosch**

# Auditoria de avaliação do processo de qualificação e certificação de profissionais de proteção catódica de estruturas terrestres nível 1

A Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO comunica a toda comunidade científica que nos dias 04 e 05/06/2019 foi realizada a auditoria de avaliação do processo de qualificação e certificação de profissionais de proteção catódica de estruturas terrestres nível 1. A certificação destes profissionais será realizada com base nos requisitos definidos na norma ABNT NBR 15653:2014 e tem como principal objetivo fornecer ao mercado profissionais capacitados para realizar serviços de campo, tais como levantamento de dados destinados à elaboração de projetos e pesquisa de interferências; orientação da instalação e montagem do sistema; inspeção e execução de manutenção preventiva e corretiva de sistemas de proteção catódica, dentre outras.

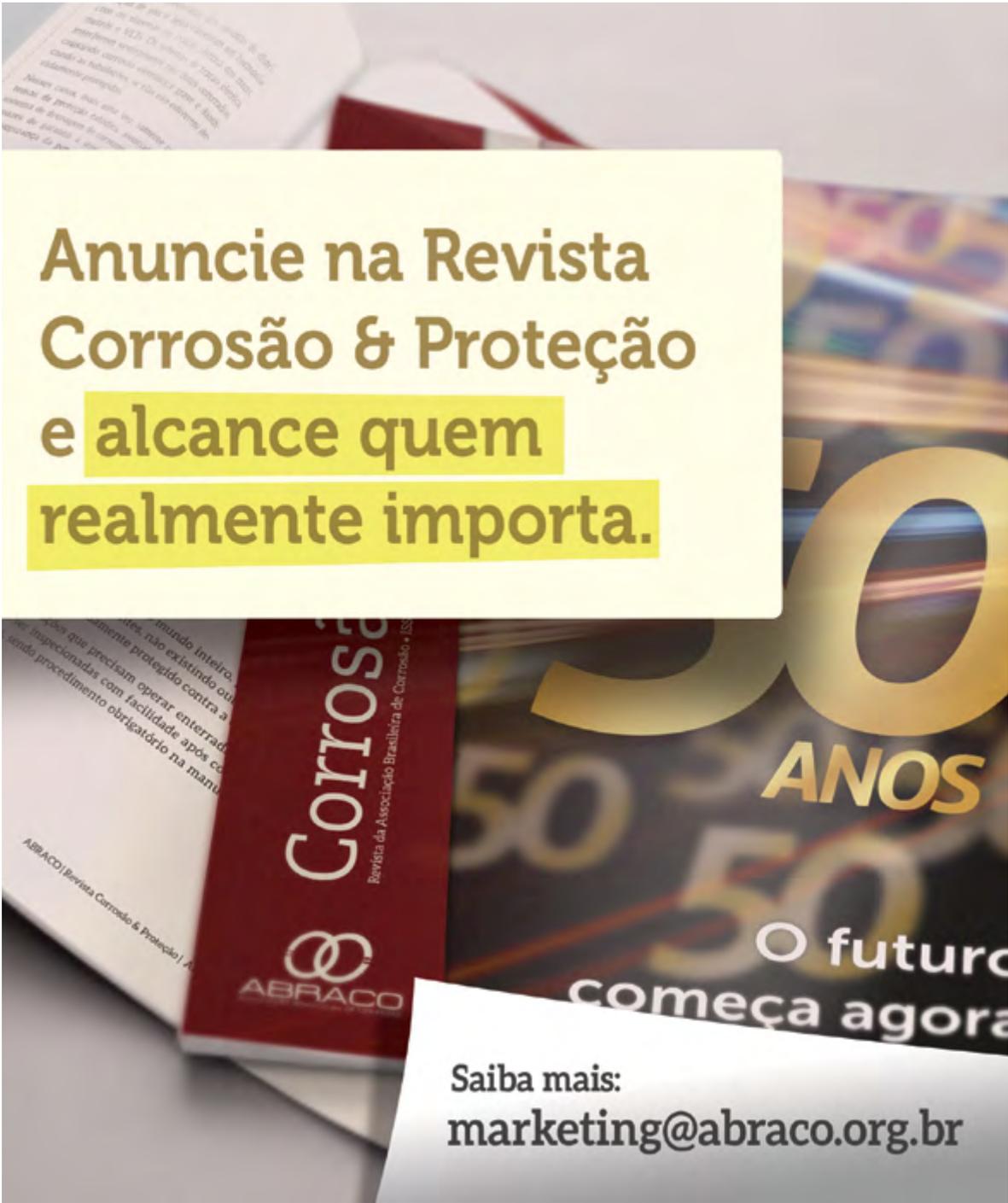
O exame de qualificação desta modalidade será composto das seguintes provas:

- Exame Teórico Geral;
- Estudo de Casos que abrange os conceitos, procedimentos e cálculos realizados nos serviços de pré-operação de um sistema de

proteção catódica por corrente impressa (estruturas terrestres) e

- Exame Prático, constituído por um conjunto de 5 (cinco) provas práticas de campo, onde o candidato deve demonstrar, com base em procedimentos técnicos e normas, sua competência na realização de serviços de proteção catódica em estruturas terrestres.
  - PC-01: Ensaios de isolamento elétrico e identificação de curto-circuitos;
  - PC-02: Inspeção de retificadores e drenagens;
  - PC-03: Inspeção de leito de anodos;
  - PC-04: Medição da resistividade elétrica de eletrólitos;
  - PC-05: Medição de potencial estrutura-eletrólito ON/OFF.

Os profissionais interessados em certificar deverão entrar em contato com a ABRACO através do telefone 21 2516 1962 para obter as informações necessárias para iniciar o processo.



**Anuncie na Revista  
Corrosão & Proteção  
e alcance quem  
realmente importa.**

Saiba mais:  
[marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)

# Novo Lançamento: A caneta inteligente capaz de medir espessura e conectar com seu smartphone

133,4 mm



Procurando por um instrumento de medição que seja moderno, portátil e flexível? O novo PHASCOPE PAINT é a escolha perfeita pois permite analisar camadas de pintura em bases ferrosas e não-ferrosas de maneira simples e rápida e reporta todos os valores diretamente no seu celular. Não está seguro sobre que tipo de base irá utilizar? Não tem problema, a caneta inteligente detecta e seleciona o método correto automaticamente.

## FISCHER DO BRASIL

+55 (11) 3588-0909  
brasil@helmutfischer.com  
www.helmut-fischer.net.br

**fischer**®

# Agenda de eventos

Conheça a programação preliminar dos eventos agendados:

EVENTO	DATA	LOCAL	CIDADE
<b>COTEQ 2019</b> Conferência de Tecnologia de Equipamentos	27 a 30 de maio	Hotel Windsor Oceânico	Rio de Janeiro - RJ
<b>II Seminário Brasileiro de Corrosão Interna de Dutos e Equipamentos</b>	13 de junho	Sede da ABRACO	Rio de Janeiro - RJ
<b>II Seminário Brasileiro de Revestimentos em Dutos</b> * Conta pontos no método de crédito estruturado.	15 de agosto	INT - Instituto Nacional de Tecnologia	Rio de Janeiro - RJ
<b>INOXCORR 2019</b> Seminário Brasileiro de Aços Inoxidáveis como Solução Contra a Corrosão	22 de agosto	IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas	São Paulo - SP
<b>III Workshop de Galvanização a Fogo - Experiências e Aplicações</b>	10 de setembro	IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas	São Paulo - SP
<b>SBPC 2019</b> VI Seminário Brasileiro de Proteção Catódica	05 de novembro	IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas	São Paulo - SP
<b>SBPA 2019</b> VI Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva * Conta pontos no método de crédito estruturado.	04 de dezembro	A definir	Rio de Janeiro - RJ
<b>21<sup>st</sup> ICC &amp; INTERCORR 2020</b> <b>21<sup>st</sup> International Corrosion Congress &amp; 8<sup>th</sup> International Corrosion Meeting</b> * Conta pontos no método de crédito estruturado.	10 a 14 de maio/2020	USP/CDI - Centro de Difusão Internacional	São Paulo - SP
<b>Seminário Brasileiro de Corrosão de Armaduras de Concreto</b>	A definir (2020)	INT - Instituto Nacional de Tecnologia	Rio de Janeiro - RJ

**PARTICIPE!**

MAIS INFORMAÇÕES E INSCRIÇÕES NO SITE DA ABRACO:

[WWW.ABRACO.ORG.BR](http://WWW.ABRACO.ORG.BR)

# 21<sup>st</sup> International Corrosion Congress - ICC & INTERCORR 2020

O ICC - 21st  
International  
Corrosion  
Congress &  
INTERCORR 2020  
- 8th International  
Corrosion Meeting  
serão realizados  
em São Paulo, no  
Centro de Difusão  
Internacional da  
USP, no período  
de 10 a 14 maio  
de 2020.

A Dra. Zehbour Panossian, Vice-presidente da ABRACO e Diretora de Inovação e Negócios do IPT, e a Prof. Simone Brasil, da Escola de Química da UFRJ, participaram, no dia 27/03, de reunião com o Comitê Executivo do ICC - International Corrosion Council, para discutir detalhes da organização do evento, durante o CORROSION 2019, evento da NACE International, em Nashville - Tennessee (EUA).

Estiveram também presentes à reunião, como membros dirigentes do ICC, seu Presidente, Prof. Dr. Günter Schmitt, da Alemanha, a 1ª Vice-presidente, Prof. Emma Angelini, da Itália, o Ex-Presidente, Dr. Carlos Arroyave, da Colômbia, e o Tesoureiro, Dr. Tim Gommlich, também proveniente da Alemanha.

Dentre os assuntos debatidos, ficou definido que o idioma oficial do congresso será o inglês, o que dará mais relevância a produção técnica-científica do evento.

Também foi decidido que os trabalhos serão avaliados em etapa única, por meio de resumo expandido, conforme o novo calendário de chamada de trabalhos:

Recebimento de resumo expandido	Até 30/09/2019
Notificação aos autores / pedidos de revisão	Até 30/11/2019
Recebimento de resumos revisados para publicação	Até 31/12/2019
Notificação aos autores sobre apresentação dos Trabalhos (oral ou pôster)	Até 31/01/2020

Os autores de trabalho interessados já podem submeter seus artigos, acessando o site da ABRACO ou o site do evento: [www.icc-congress2020.com](http://www.icc-congress2020.com)



21<sup>st</sup>  ICC Congress

INTERCORR  
 ABRACO 2020

A ABRACO ressalta que os trabalhos inscritos concorrem a dois prêmios: Prêmio Professor Vicente Gentil, para o melhor trabalho em apresentação oral, e Prêmio Excelência, para o melhor trabalho apresentado sob a forma de pôster.

O tradicional Concurso de Fotografia de Corrosão e Degradação de Materiais chega a sua 22ª edição e a ABRACO espera receber também inscrições de fotos de participantes

estrangeiros para a competição. Durante a reunião em Nashville, os membros do ICC mostraram-se animados com a realização do Concurso.

O evento contará com uma programação especialmente preparada para seus congressistas, com renomados conferencistas internacionais e a difusão de trabalhos técnicos-científicos advindos de todos os continentes. Participe e inscreva seu artigo o quanto antes!

# Seminários programados para agosto e setembro

**D**urante os meses de agosto e setembro a ABRACO estará promovendo mais alguns de seus tradicionais seminários: o II Seminário Brasileiro de Revestimentos em Dutos e o III Workshop de Galvanização a Fogo - Experiências e Aplicações.

E, numa parceria inédita com a ABINOX - Associação Brasileira do Aço Inoxidável, juntamente com seu consagrado parceiro IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, a ABRACO estará realizando o INOXCORR 2019 - Seminário Brasileiro de Aços Inoxidáveis como Solução Contra Corrosão.

O II Seminário Brasileiro de Revestimentos em Dutos acontecerá no dia 6 de agosto, no Rio de Janeiro, na Sede do INT - Instituto Nacional de Tecnologia. A primeira edição do evento reuniu cerca de 90 pessoas com intuito de discutir as diversas aplicações dos revestimentos em dutos como técnica de proteção anticorrosiva.

O Comitê Técnico do evento conta com representantes das seguintes empresas: Petrobras, Transpetro, Shawcor, Tenaris, TSA e IEC. É atribuição do Comitê preparar a programação do evento, sempre buscando atender aos anseios da comunidade industrial.

O INOXCORR 2019 está agendado para o dia 22 de agosto, e será realizado na Sede do IPT, no Auditório do Prédio 50. O seminário tem como objetivo reunir especialistas e demais profissionais da área para apresentar e discutir aspectos

relacionados à corrosão em aços inoxidáveis, as soluções adotadas e casos de sucesso.

O evento conta com diversas palestras de especialistas, apresentação de artigos técnicos em sessão de pôster, uma mesa-redonda sobre a importância da capacitação dos profissionais ligados à corrosão em aços inoxidáveis e visita ao Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT, que encerrará o encontro.

O Workshop de Galvanização a Fogo, realizado em parceria com o ICZ - Instituto de Metais Não Ferrosos e com o IPT, chega a sua 3ª edição, contando com importantes apoios de entidades das áreas de arquitetura e construção: ASBEA - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura, ABCEM - Associação Brasileira de Construção Metálica e CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço.

A programação deste ano abordará temas relacionados a galvanização no setor elétrico e metroviário, bem como estruturas metálicas em geral, galvanizadas por imersão a quente. Em seu encerramento, o workshop terá ainda a entrega do Prêmio Brasil Galvanizado e uma visita ao Laboratório de Corrosão e Proteção do IPT.

O evento, que recebeu aproximadamente 100 pessoas em 2018, será novamente realizado no Prédio 50 do IPT, e está programado para o dia 10 de setembro.

As inscrições para os eventos estão abertas e podem ser feitas pelos sites da ABRACO ou da ABINOX.

II SEMINÁRIO BRASILEIRO DE REVESTIMENTOS EM DUTOS  
III WORKSHOP DE GALVANIZAÇÃO A FOGO - EXPERIÊNCIAS E APLICAÇÕES  
[www.abraco.org.br/eventos](http://www.abraco.org.br/eventos)

INOXCORR 2019  
[www.abraco.org.br/eventos](http://www.abraco.org.br/eventos)

# ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

## MISSÃO

Difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando empresas, entidades e especialistas e contribuindo para que a sociedade possa garantir a integridade de ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos da corrosão.

## ATIVIDADES

**CURSOS:** Ministra cursos em sua própria sede, que conta com modernas instalações. Também são realizados cursos em parceria com importantes instituições nacionais de áreas afins e cursos In Company, sempre com instrutores altamente qualificados.

**EVENTOS:** Organiza periodicamente diversos eventos como: congressos, seminários, palestras, workshops e fóruns, com o objetivo de promover o intercâmbio de conhecimento e informação, além de compartilhar os principais avanços tecnológicos do setor.

**QUALIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO:** Mantém um programa de qualificação e certificação de profissionais da área de corrosão e técnicas anticorrosivas, por meio do seu Conselho de Certificação e do Bureau de Certificação.

**BIBLIOTECA:** Possui uma Biblioteca especializada nos temas corrosão, proteção anticorrosiva e assuntos correlatos. O acervo é composto por livros, periódicos, normas técnicas, trabalhos técnicos, anais de eventos e fotografias da ação corrosiva.

**CB-43:** Coordena o CB-43 – Comitê Brasileiro de Corrosão, que abrange a corrosão de metais e suas ligas no que concerne à terminologia, requisitos, avaliação, classificação, métodos de ensaio e generalidade. O trabalho é desenvolvido desde 2000, após aprovação da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**COMUNICAÇÃO:** Utiliza canais de comunicação para informar ao mercado e à comunidade técnico-empresarial todas as novidades da área, conquistas da Associação, dos filiados e de parceiros, por meio de boletins eletrônicos, site, redes sociais e revista.

## ASSOCIE-SE À ABRACO E APROVEITE SEUS BENEFÍCIOS:

Descontos em cursos e eventos técnicos

Descontos significativos nas aquisições de publicações na área de corrosão e proteção anticorrosiva

Descontos em anúncios na Revista Corrosão & Proteção

Recebimento de exemplares da Revista Corrosão & Proteção

Pesquisas bibliográficas gratuitas na Biblioteca da ABRACO

Inserção do perfil da empresa no site institucional da ABRACO

E MUITO MAIS! PARTICIPE DO DESENVOLVIMENTO DA ÁREA!



## EMPRESAS ASSOCIADAS

A IDEAL SOLUÇÕES ANTICORROSIVAS EIRELI ME  
[www.aideal.com.br/site/](http://www.aideal.com.br/site/)

---

ADVANCE TINTAS E VERNIZES LTDA.  
[www.advancetintas.com.br](http://www.advancetintas.com.br)

---

AKZO NOBEL LTDA - DIVISÃO COATINGS  
[www.akzonobel.com/international](http://www.akzonobel.com/international)

---

BBOSCH GALVANIZAÇÃO DO BRASIL LTDA.  
[www.bbosch.com.br](http://www.bbosch.com.br)

---

BLASPINT MANUTENÇÃO INDUSTRIAL LTDA.  
[www.blaspint.com.br](http://www.blaspint.com.br)

---

CEPEL - CENTRO PESQ. ENERGIA ELÉTRICA  
[www.cepel.com.br](http://www.cepel.com.br)

---

CIA. METROPOLITANO SÃO PAULO – METRÔ  
[www.metro.sp.gov.br](http://www.metro.sp.gov.br)

---

DE NORA DO BRASIL LTDA.  
[www.denora.com](http://www.denora.com)

---

DEEPWATER DO BRASIL ENGENHARIA LTDA.

---

EGD ENGENHARIA LTDA.  
[www.egdengenharia.com.br](http://www.egdengenharia.com.br)

---

ELÉTRON QUÍMICA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.  
[www.eletronquimica.com.br](http://www.eletronquimica.com.br)

---

FIRST FISCHER PROTEÇÃO CATÓDICA  
[www.firstfischer.com.br](http://www.firstfischer.com.br)

---

FISCHER DO BRASIL  
[www.helmut-fischer.com.br](http://www.helmut-fischer.com.br)

---

FOX TREINAMENTOS E SERVIÇOS ON & OFFSHORE  
[www.foxtreinamentos.com](http://www.foxtreinamentos.com)

---

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A  
[www.furnas.com.br](http://www.furnas.com.br)

---

G P NÍQUEL DURO LTDA.  
[www.grupogp.net](http://www.grupogp.net)

---

GAIATEC COM. E SERV. AUT SISTEMAS DO BR LTDA.  
[www.giatecsistemas.com.br](http://www.giatecsistemas.com.br)

---

HAPO PINTURAS LTDA – ME  
[www.grupohapopinturas.com.br](http://www.grupohapopinturas.com.br)

---

HITA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.  
[www.hita.com.br](http://www.hita.com.br)

---

IEC INSTALAÇÕES E ENG<sup>a</sup> DE CORROSÃO LTDA.  
[www.iecengenharia.com.br](http://www.iecengenharia.com.br)

---

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT  
[www.int.gov.br](http://www.int.gov.br)

---

ITAGUAÍ CONSTRUÇÕES NAVAIS - ICN  
[www.icnavais.com](http://www.icnavais.com)

---

JOTUN BRASIL IMP. EXP. E IND. DE TINTAS LTDA.  
[www.jotun.com](http://www.jotun.com)

---

MARINE INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE TINTAS LTDA.  
[www.marinetintas.com.br](http://www.marinetintas.com.br)

---

MORKEN BRASIL COM. E SERV. DUTOS E INSTAL. LTDA.  
[www.morkenbrasil.com.br](http://www.morkenbrasil.com.br)

---

PAUMAR S.A - INDÚSTRIA E COMÉRCIO (WEG TINTAS LTDA.)  
[www.weg.net](http://www.weg.net)

---

PETROBRAS S/A - PETRÓLEO BRASILEIRO / CENPES  
[www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br)

---

PETROBRAS TRANSPORTES S/A - TRANSPETRO  
[www.transpetro.com.br](http://www.transpetro.com.br)

---

PINTURAS YPIRANGA LTDA.  
[www.pinturasypiranga.com.br](http://www.pinturasypiranga.com.br)

---

PRESSERV DO BRASIL LTDA.  
[www.cortecpresserv.com.br](http://www.cortecpresserv.com.br)

---

PRINER SERVIÇOS INDUSTRIAIS S.A.  
[www.priner.com.br](http://www.priner.com.br)

---

PROMAR TRATAMENTO ANTICORROSIVO LTDA.  
[www.promarpintura.com.br](http://www.promarpintura.com.br)

---

RENNER HERRMANN S/A  
[www.renner.com.br](http://www.renner.com.br)

---

REVESTIMENTOS E PINTURAS BERNARDI LTDA.  
[bernardi@pinturasbernardi.com.br](mailto:bernardi@pinturasbernardi.com.br)

---

SACOR SIDEROTÉCNICA S/A  
[www.sacor.com.br](http://www.sacor.com.br)

---

SMARTCOAT ENGENHARIA EM REVESTIMENTOS LTDA.  
[www.smartcoat.com.br](http://www.smartcoat.com.br)

---

TBG - TRANSP. BRAS. GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL  
[www.tbg.com.br](http://www.tbg.com.br)

---

TECHNIQUES SURFACES DO BRASIL LTDA.  
[www.tsbrasil.srv.br](http://www.tsbrasil.srv.br)

---

TECNOFINK LTDA.  
[tecnofink.com](http://tecnofink.com)

---

TINÔCO ANTICORROSÃO LTDA.  
[www.tinocoanticorrosao.com.br](http://www.tinocoanticorrosao.com.br)

---

W&S SAURA LTDA.  
[wsequipamentos.com.br](http://wsequipamentos.com.br)

---

ZERUST PREVENÇÃO DE CORROSÃO LTDA.  
[www.zerust.com.br](http://www.zerust.com.br)

---

ZINCOLIGAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.  
[www.zincoligas.com.br](http://www.zincoligas.com.br)

---



### **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO**

Av. Venezuela, 27 • Sl. 412/418 • Centro • Rio de Janeiro • CEP 20081-311

(21) 2516-1962 • [www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)

Facebook: [facebook.com/abraco.oficial](https://facebook.com/abraco.oficial)

LinkedIn: [linkedin.com/in/abraco](https://linkedin.com/in/abraco)

Instagram: [@abraco\\_br](https://instagram.com/abraco_br)

Youtube: Associação Brasileira de Corrosão

### **SETORES**

Associados: [secretaria@abraco.org.br](mailto:secretaria@abraco.org.br)

Biblioteca: [biblioteca@abraco.org.br](mailto:biblioteca@abraco.org.br)

CB-43: [cb43@abraco.org.br](mailto:cb43@abraco.org.br)

Comunicação: [marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)

Eventos: [eventos@abraco.org.br](mailto:eventos@abraco.org.br)

Financeiro: [financeiro@abraco.org.br](mailto:financeiro@abraco.org.br)

Gerência Geral: [gerenciageral@abraco.org.br](mailto:gerenciageral@abraco.org.br)

Presidência: [presidencia@abraco.org](mailto:presidencia@abraco.org)

Qualificação e Certificação: [qualificacao@abraco.org.br](mailto:qualificacao@abraco.org.br)

Treinamentos: [cursos@abraco.org.br](mailto:cursos@abraco.org.br)