



# A proteção catódica no concreto armado

Saiba como dimensionar o único processo que (realmente) interrompe a corrosão no concreto armado.

**Joaquim Rodrigues**

A única maneira de interromper processos de corrosão em estruturas de concreto armado é, basicamente, pondo outro metal para corroer no lugar do aço das armaduras. Este processo é chamado de proteção catódica. O contato de um metal mais anódico que o aço gera uma corrente elétrica galvânica que interrompe a corrosão pela redução a zero da corrente de corrosão ou pela sua reversão. Esta condição pode ser encontrada tomando-se os potenciais da estrutura, em relação a uma semi-pilha, junto às células de corrosão.

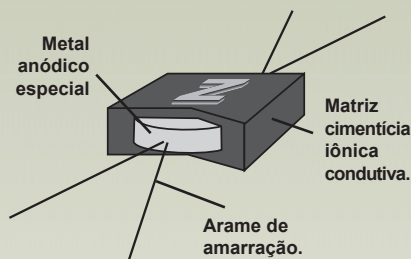
O dimensionamento da proteção catódica (PC) para estruturas metálicas, tanto em solo quanto em água, é tido como disciplina padrão no meio acadêmico e envolve o conhecimento do tamanho geométrico da estrutura a ser protegida, o cálculo da corrente de proteção necessária e o dimensionamento do tipo e tamanho do aterramento mais adequado.

O dimensionamento da PC para estruturas de concreto armado, no entanto, é uma disciplina novíssima e baseia-se em uma série de conceitos e variáveis pré-estabelecidos da cadeira acima citada, facilitando enormemente a compreensão desta nova tecnologia. Poder-se-á, já adentrando-se nesta matéria, interromper processos de corrosão no concreto armado e pretendido fazendo-se proteção catódica com corrente galvânica (PCCG), bem mais acessível, ou proteção catódica com corrente impressa (PCCI), mais complicada.

## CONHEÇA TRÊS SISTEMAS DE PC

### PC com pastilha galvânica

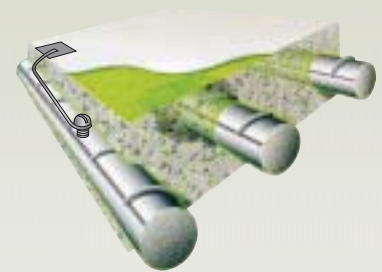
#### DESENHO DA PASTILHA



#### A PASTILHA APLICADA

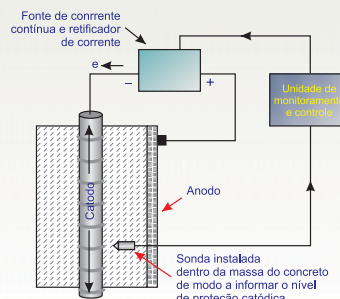


### PC com manta galvânica (MAZ)



A introdução d'água junto aos apoios, mais exatamente nas juntas de dilatação, provocou processos de corrosão nas bases das longarinas desta ponte. A solução foi PC com MAZ.

### PC com corrente impressa



A malha de titânio (anodo) sendo instalada em um pilar. O trabalho seguinte, para este tipo de PC, é a projeção de concreto.

Esquema de PC por corrente impressa.

## A CONCORRÊNCIA NOS SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Há, no mercado, diversas opções para os serviços de recuperação estrutural motivada por corrosão nas armaduras do concreto. Verifique a que se adapta à sua obra.

1

### Recuperação estrutural convencional

- Não interrompe a corrosão.
- Acarreta barulho, entulho e paralizações.
- É comum cobrar-se de R\$ 1.000,00 a R\$ 2.000,00/m<sup>2</sup>.
- Usualmente, requer novos serviços após 5 anos.

2

### Utilização de revestimentos (normalmente epóxicos)

- Revestimentos não interrompem a corrosão, apenas impedem a penetração de agentes contaminantes e água.
- É comum cobrar-se de R\$ 20,00 a R\$ 50,00/m<sup>2</sup>.

3

### Inibidores de corrosão (migração)

- Não oferecem qualquer garantia.
- Não há como provar que o material aplicado adentra no concreto em direção à armadura, interrompendo a corrosão.
- É comum cobrar-se de R\$ 20,00 a R\$ 50,00/m<sup>2</sup>.

4

### Proteção catódica com malha de titânio

- Durabilidade de 20 a 30 anos.
- Não é aplicada em locais onde há apenas corrosão localizada.
- Requer manutenção e monitoramento constantes.
- Requer revestimento de proteção.
- Custo em torno de R\$ 520,00/m<sup>2</sup> para pontes e R\$ 750,00/m<sup>2</sup> em estruturas marítimas.

5

### Proteção catódica com pintura energisante (RECUPERAR nº 5)

- Durabilidade de 10 a 20 anos.
- Não se usa em estruturas marítimas.
- Não é aplicada em corrosão localizada.
- Requer manutenção e monitoramento constantes.
- Custo em torno de R\$ 320,00/m<sup>2</sup>.

6

### Proteção catódica com Zinco Termo Projetado (ZTP) (RECUPERAR nº 18)

- A preparação da superfície é fundamental para a adesão do revestimento.
- Custo em torno dos R\$ 100,00/m<sup>2</sup>.

7

### Proteção catódica com Jaqueta G (RECUPERAR nº 25)

- Usada apenas em estacas marítimas, na zona de variação da maré.
- Durabilidade superior a 30 anos.
- Aplicação rápida, tendo comprimento em cerca de 2m.
- Custo em torno de R\$ 4.500,00/estaca.

8

### Proteção catódica com Pastilha Galvânica (RECUPERAR nº 33)

- Durabilidade em torno de 15 anos.
- Aplicada em qualquer estrutura, principalmente marítima.
- Custo em torno de R\$ 15,00/unidade

### Como dimensionar uma proteção catódica

Os dois fatores mais importantes em uma PC são: a densidade da corrente, isto é, a corrente que irá fluir na pilha de corrosão (catodo/anodo) por unidade de área do anodo aplicado para interromper a corrosão nas armaduras e a situação do binômio concreto/armaduras que se deseja proteger. Além destas duas variáveis principais, somar-se-ão algumas outras como a resistividade do concreto, o tipo de anodo empregado e a durabilidade desejada. De qualquer forma, é preciso ficar atento para que, caso haja insuficiente densidade de corrente ou distribuição inadequada, a interrupção, redução ou prevenção

da corrosão poderá não ser totalmente obtida.

### A filosofia do sistema

A primeira parte do dimensionamento da proteção catódica é entender a necessidade do cliente, procurando saber até onde deseja interromper os processos de corrosão existentes. De acordo com o mapeamento dos potenciais de corrosão efetuado deverá, de imediato, atacar as regiões com potenciais de corrosão comprometedores. De modo prático, é comum aplicar, por exemplo, anodos de sacrifício (pastilhas) sem qualquer conhecimento dos potenciais de corrosão, o que não é totalmente correto, pois desta forma atacar-se-á apenas as situ-

ações terminais. Dever-se-á dimensionar um sistema de proteção catódica não objetivando a redução ou eliminação das taxas de corrosão apenas nas regiões terminais (desplacamentos) e sim sua eliminação, com o controle (futuro) dos novos potenciais em toda a estrutura.

### A densidade de corrente necessária

O metal anódico da PC para o caso de corrente galvânica (da pastilha, da MAZ ou do ZTP) precisa ter voltagem suficiente, mais negativa que 700mV (ESC), para poder despejar ou injetar corrente suficiente na armadura da estrutura.

A “injeção” de corrente ou densidade de corrente necessária apresenta dificuldades para qualquer projetista que deseje fazer proteção catódica no concreto armado, pois existe muito pouca informação a respeito. Dever-se-á considerar que a densidade de corrente necessária para o futuro catodo (armadura) é independente do tipo de proteção catódica a ser empregado e, naturalmente, sujeita a uma distribuição incerta de corrente através do concreto. Nota-se, portanto, a necessidade do conhecimento da resistividade do mesmo.

A densidade de corrente não está relacionada, como poderia se imaginar, à área da superfície da armadura a ser protegida dentro do concreto e sim à área da superfície do concreto sobre a qual o anodo será aplicado, muito embora a relação entre estas áreas possa, para algumas estruturas, ser igual a unidade. A densidade de corrente

## OS TESTES NECESSÁRIOS

Para se atestar uma estrutura de concreto armado ou protendido com relação a um possível estado de corrosão, dever-se-á executar os seguintes testes:

- Análise de cloretos (Chlor-Test) e pH (lápis medidor).
- Mapeamento dos deslocamentos, fissuras e trincas existentes.
- Espessura da camada de recobrimento do concreto.
- A área real ou estimada da armadura.
- Os potenciais de corrosão (semi-pilha CPV-4).
- Verificação da continuidade elétrica das armaduras (com o próprio CPV-4).
- Resistividade elétrica do concreto (RESI).
- Carbonatação (Carbo-detec).

## Sugestões de densidades de correntes para diversas condições do concreto/armaduras

Estado do concreto que envolve as armaduras	Densidade de corrente em mA/m <sup>2</sup> de armadura
Alcalino, sem corrosão e pouco oxigênio	0,1
Alcalino, estrutura sem corrosão mas com ambiente que poderá comprometer	1,3
Alcalino, presença de cloretos, concreto seco e de boa qualidade, recobrimento adequado mas com poucos sinais de corrosão	3 - 7
Cloretos presentes, molhação constante, concreto de baixa qualidade, pouco recobrimento e presença de corrosão	8 - 20
Altos níveis de cloretos, estrutura sujeita a imersão e secagem com altos níveis de oxigenação, calor, recobrimento inadequado e bastante corrosão	30 - 50

necessária é extremamente dependente da taxa de corrosão da armadura, antes da aplicação da PC, do estado de contaminação do concreto e do ambiente que cerca a estrutura. Por exemplo, se um concreto apresenta-se alcalino, com poucos sinais de contaminação por cloretos, com taxa de difusão muito pequena e potenciais de corrosão não comprometedores, necessitar-se-á uma densidade de corrente muito baixa para prevenir qualquer processo de corrosão no futuro. Por outro lado, estruturas com camadas de recobrimento insuficientes, ambientes úmidos e calorentos com altos níveis de oxigênio, o que é muito comum, e maresia (cloretos) haverá necessidade de alta densidade de corrente. De um modo geral, tem-se uma densidade de corrente inicial, para o catodo, após a instalação do sistema, variando entre 10 e 20mA/m<sup>2</sup> promovendo a polarização, podendo chegar a valores em torno de 90mA/m<sup>2</sup> para áreas com altos níveis de cloretos e, por outro lado, a valores próximos a 4mA/m<sup>2</sup> em áreas com baixa ou nenhuma presença destes íons. Conclui-se que o ideal para se definir a melhor densidade de corrente é fazer testes com o sistema de PC a ser empregado. A

tabela acima ajudará nesta empreitada.

### A polarização

O equilíbrio das semi-pilhas (catodo e anodo) é caracterizado pela mudança de seus potenciais que, por sua vez, dependem do potencial redox padrão, da concentração das espécies que estão participando da reação (isto é, OH<sup>-</sup>, Fe<sup>++</sup>, etc.) e da temperatura do ambiente. Em outras palavras, quando ocorre corrosão, a corrente que circula entre o anodo e o catodo causa uma variação nos potenciais (voltagem) das armaduras. Esta variação de potenciais motivada pela passagem de corrente é chamada de polarização. Por exemplo, quando se instala um anodo de sacrifício à base de pastilha, por exemplo, na região que está se recuperando, ao tampá-la com argamassa ou concreto, automaticamente o anodo (no caso o metal anódico empregado na pastilha) estará enviando corrente através da massa da pastilha para a armadura, retornando a corrente para o anodo através dos arames de fixação. Nesta situação, a armadura, na região adjacente à pastilha, estará protegida da corrosão com um potencial que poderá

variar de -700 a -900mV. Neste caso a armadura sofreu uma polarização.

### A distribuição da corrente de proteção

Da mesma forma que a densidade de corrente, sua distribuição pelas armaduras é de suma importância, sendo ideal conhecer-se a sua área e a extensão do processo de corrosão. Através do mapeamento dos potenciais e da resistividade, definir-se-ão as áreas de corrosão ativa, sendo necessário “injetar-se” níveis de corrente padronizados nestas regiões. Após a instalação dos anodos (de sacrifício), far-se-á novamente o mapeamento dos potenciais para comparação e monitoramento.

A distribuição de corrente é muito dependente do tipo de anodo empregado (por exemplo pastilha Z e a MAZ) e das variações de resistividade encontradas no concreto. Quando existem pequenas mudanças na resistividade do concreto, anodos de sacrifício do tipo pastilha promovem uma distribuição esferoidal, como uma “bola de futebol” em torno do centro do anodo, enquanto a do tipo MAZ e ZTP promovem uma distribuição lateral a partir de sua superfície. A utilização de anodos tipo pastilha, em quantidade suficiente, poderá promover também uma distribuição lateral. Variáveis do tipo densidade de armaduras, grande contaminação por cloretos, fissuras ou trincas na superfície e ausência de camada de recobrimento, acarretarão significativas modificações no comportamento da distribuição da corrente. De qualquer modo, é interessante, para estruturas severamente atingidas por corrosão, executarem-se testes em áreas específicas, tomando-se pelo menos 1m<sup>2</sup> da superfície da estrutura. Após a instalação dos anodos de sacrifício, medir-se-ão as mudanças de potencial, verificando-se que aquelas áreas com corrosão tornaram-se



[www.recuperar.com.br](http://www.recuperar.com.br)

“Veja como a fibra de carbono “segura a barra” de um concreto lançado com baixa resistência em um reforço estrutural”

Não perca

**RECUPERAR**  
nº 38

catódicas, alcançando-se os critérios normalmente aceitos (veja o box na próxima página).

### A resistividade do concreto

É, sem dúvida, um dos mais importantes parâmetros quando se trabalha com corrosão e proteção catódica no concreto armado e protendido. Esta propriedade do concreto é intrínseca. Depende inteiramente dos materiais e do traço empregado, assim como, por outro lado, da temperatura, da umidade e dos potenciais existentes, na hora de sua determinação. Quando se deseja aplicar qualquer tipo de proteção catódica em uma estrutura com corrosão, deve-se tratar inicialmente os deslocamentos. Após o tratamento das armaduras para remoção das carepas de corrosão com escovas de aço e/ou hidrojateamento de areia, dever-se-ão utilizar uma argamassa ou concreto, de preferência, com o mesmo traço do concreto original. Em nenhuma hipótese dever-se-á utilizar argamassas ou grauts que contenham polímeros, objetivando aderência e ausência de retração, pois dificultam ou impedem o fluxo iônico necessário ao tratamento com proteção catódica. Para todos os efeitos, vale a pena apresentar a tabela do comite euro-internacional do Beton-CEB que relaciona resistividade com probabilidade de corrosão.

Resistividade do concreto k ohm.cm	Indicação de probabilidade de corrosão
> 20	Desprezível
10 a 20	Baixa
5 a 10	Alta
< 5	Muito Alta

### COMO VERIFICAR A CONTINUIDADE ELÉTRICA COM A SEMI-PILHA

Para avaliar a continuidade elétrica das armaduras a serem tratadas com proteção catódica siga os seguintes procedimentos, utilizando-se a semi-pilha CPV-4.

- Ligue o cabo preto com a armadura exposta, utilizando o conector jacaré, assegurando um contato bem firme.
- Ligue o cabo vermelho ao eletrodo de referência de sulfato de cobre.
- No voltímetro, inverta o posicionamento, ligando o cabo vermelho no conector preto e o cabo preto no conector vermelho, para obter leituras negativas.
- Verifique se a esponja está suficientemente molhada com uma solução contendo água e algumas gotas de sabão líquido, de modo a fechar um bom contato elétrico, mantendo a superfície do concreto bem úmida.
- Faça a leitura do potencial no local desejado.
- Com o eletrodo de sulfato de cobre fixado no local da leitura, remova e reinstale o conector jacaré 3 ou 4 vezes na armadura. Repita esta operação, se necessário, para obter dados consistentes.
- A variação dos potenciais obtidos pode ser analisada em 3 categorias:
  - Em torno de  $\pm 0,001V$  ou  $1mV$  entre cada leitura. Provável continuidade elétrica
  - Superior a  $\pm 0,001V$  ou  $1mV$ , mas inferior a  $\pm 0,003V$  ou  $3mV$ . Continuidade elétrica incerta.
  - Superior a  $\pm 0,003V$  ou  $3mV$ . Provável descontinuidade elétrica.

### SAIBA COMO MEDIR A CORRENTE ELÉTRICA DA PC

Para medir o fluxo de corrente do sistema, insira um resistor de  $0,1\text{ohm}$  entre os fios que ligam o anodo à armadura. Meça a queda de voltagem em milivolts (mV) através do resistor. Multiplique o valor absoluto da leitura em mV (ignore o sinal) por 10 (porque o resistor é  $0,1\text{ohm}$ ) para obter o fluxo de corrente do sistema em miliampères (mA).

### Parece difícil recuperar...



...a ARCANO recupera.

A ARCANO Eng<sup>a</sup> é especializada na arte de recuperar concreto armado. Nossa especialidade é o reforço estrutural com fibra de carbono e a utilização de resinas de baixa viscosidade no tratamento de trincas e fissuras. Utilizamos proteção catódica para interromper a corrosão no concreto armado e protendido. Consulte-nos hoje mesmo.



Tel/Fax: (21) 252-1154  
Celular: (21) 9913-2679

## OS CRITÉRIOS DE ACEITABILIDADE DA PC

Existem basicamente dois critérios normatizados pela NACE (National Association Corrosion Engineers) que permitem atestar se a armadura tratada com corrente de sacrifício ou impressa encontra-se eficientemente aplicada. O primeiro critério, mais indicativo e usualmente aceito, é o do potencial máximo encontrado com a semi-pilha de cobre-sulfato de cobre. Ele estabelece que a armadura deverá estar sempre mais negativa do que o valor máximo do potencial encontrado com a semi-pilha durante a fase de investigação do processo de corrosão. São adotados, usualmente, valores de  $-850\text{mV}$  com a semi-pilha de cobre-sulfato de cobre. Este critério foi desenvolvido a partir do fato de que o maior potencial encontrado em armaduras corroídas foi de  $-800\text{mV}$ .

Utilizando-se um potencial de  $-850\text{mV}$  estaremos eliminando qualquer possibilidade de ocorrência de diferenças de potencial, principalmente entre as regiões mais anódicas, que conduzem a novos processos de corrosão. Muitas empresas costumam trabalhar com valores em torno de  $-700\text{mV}$ , considerados muito seguros.

O segundo critério de aceitabilidade é o que estabelece uma queda mínima de voltagem de polarização de  $-100\text{mV}$ , medido com a semi-pilha de cobre-sulfato de cobre. Esta queda de voltagem da polarização é determinada imediatamente após o desligamento da corrente de sacrifício ou impressa, medindo-se a perda de polarização (ou a depolarização). Desligando-se o envio da corrente de proteção, ocorre uma imediata queda na voltagem. A leitura da voltagem após o imediato desligamento do sistema de corrente de sacrifício ou impressa empregados poderá ser usada como leitura de base a partir da qual medir-se-á a perda de polarização ou a depolarização. Esta técnica é chamada de leitura da queda do potencial no instante do desligamento ou depolarização instantânea. Deve ser feita meio segundo após o desligamento do sistema.

Os dois critérios apresentados acima deverão ser de conhecimento da equipe que instalará a corrente de sacrifício ou impressa em obras de recuperação, de modo a viabilizar qual a que melhor se adaptará ao sistema a ser empregado.

Se houver facilidade e economia em obter-se  $-850\text{mV}$ , o primeiro critério acima deverá ser escolhido, já que é o teste direto e mais fácil de ser executado.

Se a voltagem de  $-850\text{mV}$  (ou  $-700\text{mV}$ ) não for viável, então escolher-se-á o critério dos  $-100\text{mV}$ .

### Eletrodos de referência e outros equipamentos de medição

Existem diferentes tipos de eletrodos de referência inertes, próprios para instalar na massa do concreto, de modo a se ter facilmente dados da estrutura com proteção catódica. Estes eletrodos são peças onde o elemento ativo tem um coeficiente de equilíbrio dinâmico extremamente pequeno com seus íons que circulam no concreto. Metais como o grafite, a platina e algumas misturas de óxidos metálicos costumam comportar-se de forma inerte, uma vez inseridos dentro da massa do concreto, contaminado ou não com cloretos, mantendo assim potenciais estáveis. Como estes três elementos agüentam bem descargas anódicas, haverá pouca perda de material, mesmo deixando-se em aberto o circuito de medição dos potenciais por um grande período de tempo.

## Medir a Resistividade do Concreto



**também é importante.**

Um bom ambiente elétrico, tanto no concreto armado quanto no protendido, favorece o desenvolvimento da corrosão.

Resistividade elétrica só com



# RESI

Fax consulta n° 412

## DICAS PARA TRABALHAR COM A SEMI-PILHA

Ao utilizar-se a semi-pilha, por exemplo a CPV-4, tome cuidado para conectar os pólos certos, de modo a encontrar leituras negativas. Não esqueça de utilizar uma esponja molhada em água (em 1 litro d'água adicione 1/2 colher de chá de sabão líquido). Os valores encontrados serão relacionados à norma ASTM C-876. No entanto, deverá-se tirar a média aritmética dos mesmos e o desvio padrão. Tor-na-se importante considerar que quando houver diferenças entre os valores dos potenciais em torno de 100mV, provavelmente haverá um processo incipiente de corrosão. Diferenças iguais ou superiores a 200mV sig-



nificarão sérios processos de corrosão. Com este diagnóstico, o único tratamento recomendado será a proteção catódica (PC), usando-se corrente de sacrifício ou impressa em quantidade suficiente para a área afetada, de maneira que o potencial mais eletrodo negativo da armadura encontrado com a semi-pilha seja polarizado para um valor mais negativo e com uma quantidade que seja numericamente igual ou maior que o desvio padrão daqueles potenciais encontrados inicialmente. Não esqueça de sacudir o eletrodo da semi-pilha imediatamente antes de cada leitura.

Se o sistema de proteção catódica é operado usando-se o critério de “queda” para 4 e 24 horas, usar-se-á estes eletrodos. Por outro lado, se o sistema é operado usando-se o critério dos potenciais absolutos ou tem a possibilidade de alcançar potenciais muito negativos, usar-se-á a semi-pilha, conectando-se o cabo terra no fio que vem da armadura situada nas caixas de controle. A semi-pilha também é recomendada para a situação onde se deseja fazer comparações entre os potenciais encontrados originalmente na estrutura comprometida e após a instalação da corrente de sacrifício (ou impressa). O ideal, na verdade, é fazer o monitoramento usando-se a semi-pilha para medições diretas, instalando-se eletrodos inertes para servir de calibração às semi-pilhas.

### A continuidade elétrica nas armaduras

Em estruturas afetadas por corrosão não é totalmente certo garantir que haja continuidade elétrica ao longo de suas armaduras. Portanto, ao se instalar pastilhas galvânicas, mantas de zinco ou mesmo corrente impressa, poder-se-á cair na situação em que a corrente de proteção não chegue às áreas desejadas. Isto porque, normalmente, é inviável remanejar toda a camada de recobrimento para interligar as barras que corroeram e ficaram isoladas. Com um simples detector de metais, uma furadeira e um multímetro poder-se-á averiguar a continuidade elétrica das armaduras, determinando-se assim a quantidade de corrente que pode

- Controle global da qualidade na construção;
- Controle tecnológico de concreto, solos e pavimentação;
- Recuperação e reforço de estruturas;
- Gerenciamento e fiscalização de obras;
- Inspeções e laudos técnicos em estruturas;
- Provas de cargas e controle de recalques;
- Análises químicas, físicas e metalográficas.

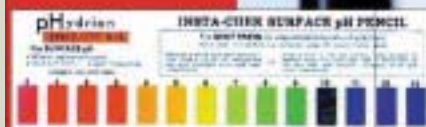


## Grupo falcão bauer

Rua Aquinos, 111 - São Paulo - CEP 05036-070  
fones: (11) 861-0833 / 861-0677 - fax: (11) 861-0170  
internet: <http://www.falcaobauer.com.br>  
e-mail: [bauer@falcaobauer.com.br](mailto:bauer@falcaobauer.com.br)  
CREDENCIADO: INMETRO E IBQN

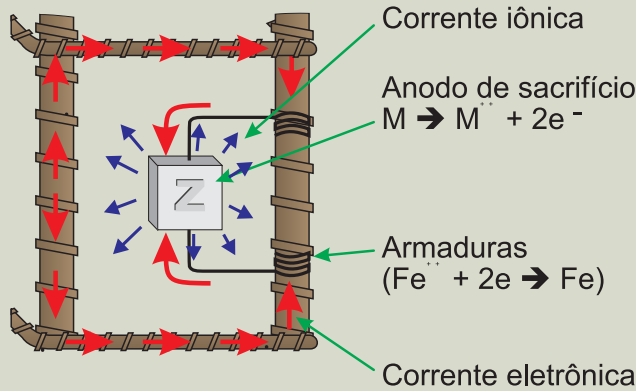
## Lápis Medidor de pH

Este lápis mede facilmente o pH de qualquer superfície. Basta riscá-la e pronto. Em poucos instantes o risco na superfície mudará de cor. Comparando esta cor com a tabela fornecida, obter-se-á o pH da superfície.



Fax consulta n° 329

ser fornecida pelo sistema de PC a ser implantado. Para o caso da instalação de corrente de sacrifício com sistemas galvânicos, basta conectar a pastilha com a armadura detectada e fechar o circuito, encostando-se a massa da pastilha no concreto com a ajuda, de uma esponja molhada. Nas pastilhas galvânicas, a corrente (iônica) parte do núcleo do metal anódico através de sua massa ionizada, atingindo o concreto e a armadura,



Região recuperada em um pilar com pastilha galvânica. Esquema de funcionamento de um anodo de sacrifício com pastilha.

## O QUE SÃO CORRENTES DE INTERFERÊNCIA?

Correntes de interferência são as correntes elétricas disseminadas em um eletrólito, mais particularmente no solo ou no concreto armado de túneis e metrô, provenientes de uma das seguintes fontes:

- Sistemas de proteção catódica de estruturas metálicas enterradas.
- Fuga de sistemas de tração eletrificados em corrente contínua (bondes, trens elétricos, etc.).
- Máquinas de solda.

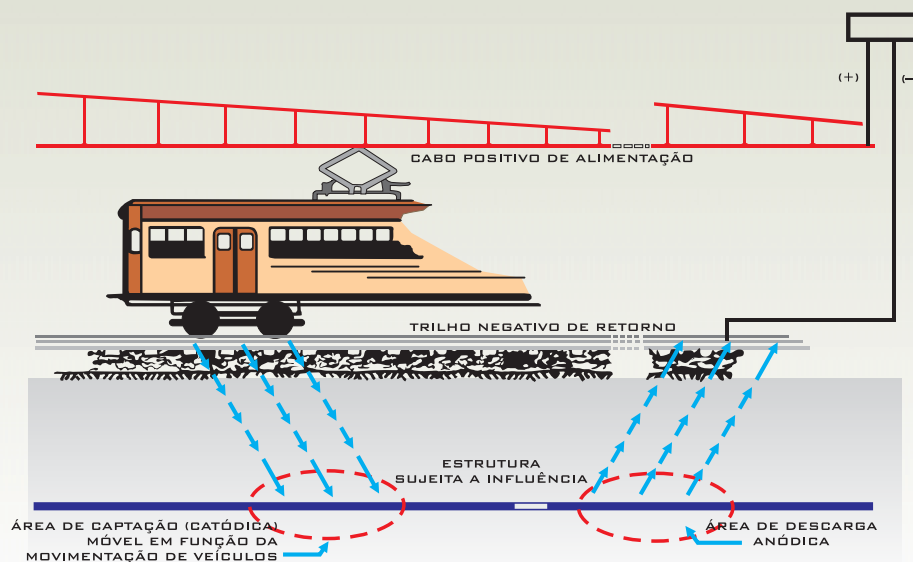
Todas essas fontes e outras que utilizam sistema de corrente contínua (cc), tendo como retorno o solo ou um condutor em contato com ele como no caso dos sistemas de tração, provocam fluxos de corrente que, fatalmente, irão

interferir com estruturas de concreto armado ou metálicas que venham a ser instaladas enterradas.

Estas correntes são encontradas com outros nomes na literatura especializada tais como: correntes estranhas, correntes parasitas, correntes vagabundas, correntes de fuga, etc.

Estes sistemas de tração a corrente contínua provocam um fluxo de corrente contínua no solo que retorna ao polo negativo da fonte geradora.

Já que os materiais metálicos são condutores com resistividade menor que o solo, qualquer estrutura de concreto ou metálica enterrada na zona de influência daqueles sistemas será, de imediato, caminho preferencial para a corrente elétrica.



Interferência ocasionada por um sistema eletrificado em cc sobre uma estrutura enterrada.

## A invenção da fibra de aço foi sensacional há alguns anos atrás...



...hoje a novidade é **POLISTEEL.**

**PARECE AÇO MAS NÃO É.**

POLISTEEL é uma revolucionária fibra híbrida polimérica de alta performance que oferece todas as qualidades da fibra de aço (e da tela eletrosoldada) para pisos industriais, revestimentos de túneis, construção de taludes, etc. Não corrói e não é magnética. Mais todos os problemas que se tem com a fibra metálica, na execução de sua obra, vão deixar de existir com a POLISTEEL. Solicite amostra e comprove o revolucionário design de...

**POLISTEEL**  
a rainha das fibras.



**FORTA**

Fax consulta nº 412

retornando sob a forma de corrente elétrica, através do arame de fixação ao metal anódico. Para a utilização de corrente impressa, dever-se-á determinar a continuidade elétrica da armadura indicando a quantidade de corrente que pode ser transportada às armaduras por cada ligação negativa de corrente contínua. De um modo geral, para a PC com corrente impressa dever-se-á utilizar pelo menos duas ligações negativas de corrente contínua para cada 50m<sup>2</sup> (veja RECUPERAR nº 5). Deverá ser dada particular atenção à situação em que há juntas de dilatação, juntas frias, juntas de concretagem ou outras descontinuidades, assegurando-se aí a continuidade elétrica. Em casos particulares de túneis e metrô, onde há sistemas de tração eletrificados e aterrados, poderá haver substancial interação de correntes de interferência com as armaduras do concreto armado (ou protendido), anulando qualquer tipo de PC a ser utilizada, causando grandes níveis de corrosão. A solução para casos como este é limitar pequenas zonas de PC no concreto armado.

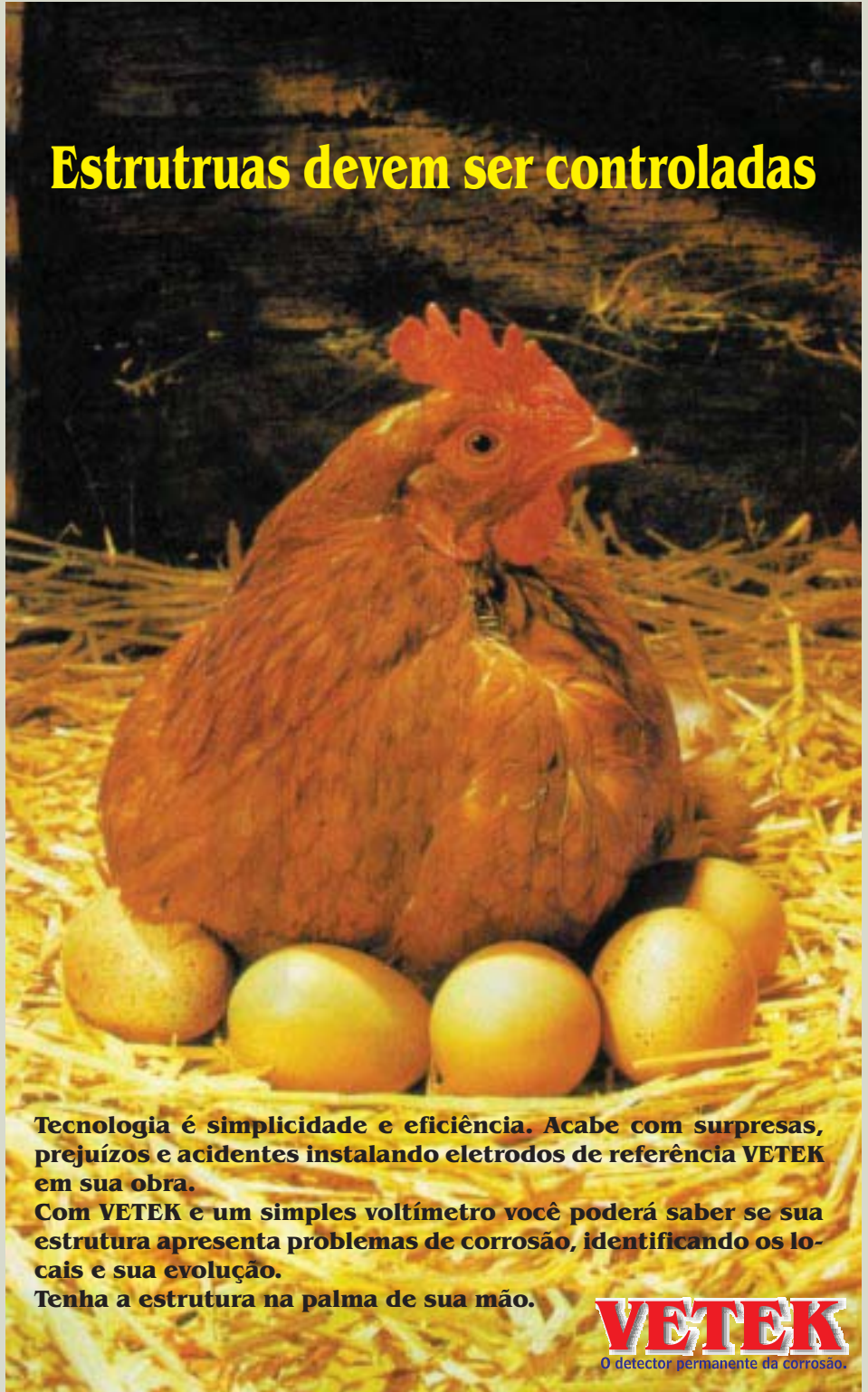
tos de patologia da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor técnico de diversas empresas.

- Concrete Society Technical Report nº 37.
- Concrete Restoration Association.
- Bennett, J.E. and Schue, T.J. "Galvanic Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge members Using Sacrificial Anodes

Attached by Conductive Adhesives". U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report. Publication No. FHWA-RD-96-073.

- Bamforth, P. Specification and design of concrete for protection of reinforcement in chloride contaminated environments.
- FHWA project. Corrosion resistant reinforcement for concrete components.

## Estruturas devem ser controladas



**Tecnologia é simplicidade e eficiência. Acabe com surpresas, prejuízos e acidentes instalando eletrodos de referência VETEK em sua obra.**

**Com VETEK e um simples voltímetro você poderá saber se sua estrutura apresenta problemas de corrosão, identificando os locais e sua evolução.**

**Tenha a estrutura na palma de sua mão.**

**VETEK**  
O detector permanente da corrosão.

### Fax consulta nº 453

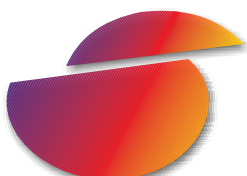
Para ter mais informações sobre Corrosão.

Click aqui!

<http://www.recuperar.com.br>

### REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil, membro de diversos institutos nos EUA, em assun-



**Fênix - Multimídia**

## INTERNET

Home Pages e Web Sites  
Para Pequenas e Grandes Empresas

- Desenvolvimento
- Administração
- Design Gráfico
- Comércio Eletrônico
- Multimídia – CD-ROM

Rua Barata Ribeiro, 774 - sl 309  
Copacabana - Rio de Janeiro  
**Tel.: (21) 547-8125**





# Detectando a corrosão no concreto armado e protendido (I)

Esta matéria, a primeira de seis, apresenta todas as dicas para fazer o mapeamento dos potenciais de corrosão com a semi-pilha.

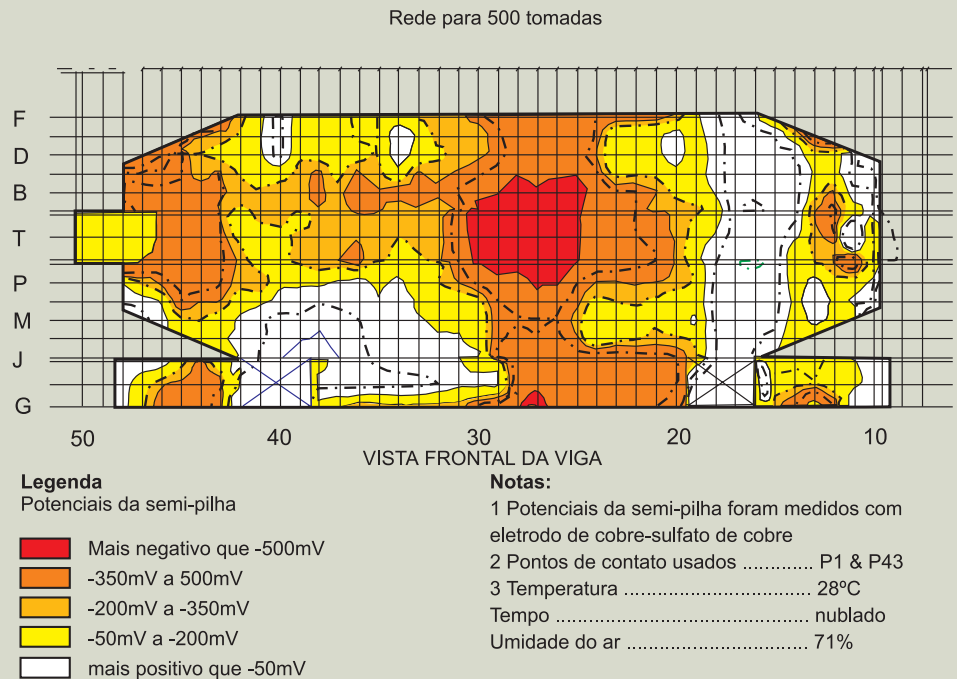
**Carlos Alberto Monge**

De uma coisa nós já sabemos, o aço do concreto corrói devido a um processo eletroquímico. As reações químicas que ocorrem devem-se a um fluxo de elétrons definido como corrente elétrica que alimenta duas sub-reações bem balanceadas – as reações no anodo e no catodo – que ocorrem num meio ou solução condutora de íons, denominado eletrólito. As reações que ocorrem são

**reação no anodo:**  $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{++} + 4e^-$   
**reação no catodo:**  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4e^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

O Fe é o ferro metálico, principal constituinte do aço, o  $\text{Fe}^{++}$  é o íon ferroso dissolvido no eletrólito que carrega cargas elétricas positivas, os elétrons, o  $\text{O}_2$  é o oxigênio dissolvido no eletrólito e o  $\text{OH}^-$  é o íon hidroxila no eletrólito que carrega as cargas elétricas negativas. Destas informações, talvez a mais importante seja a de que as duas reações ocorrem simultaneamente com as cargas elétricas se movendo como elétrons ao longo das armaduras e como íons no eletrólito. Para que estes íons possam se mover pela solução necessitam ser solvatados ou hidratados, de modo a terem mobilidade iônica. Isso ocorre quase sempre em um meio solvatante universal que é a água.

Isto significa dizer que a corrosão necessita da presença da água, embora não seja parte da reação anódica. Em um concreto que contenha íons cloretos, portanto, funcionando como eletrólito, normalmente proveniente da atmosfera marítima ou pela presença de água excessivamente clorada, na massa, durante a concretagem, a corrente



**Modelo esquemático de um mapeamento com a semi-pilha.**

(definida como o fluxo de cargas positivas movendo-se em direção oposta ao fluxo de elétrons) é transportada pelos constituintes salinos e íons pertencentes à pasta de cimento, sendo que os íons  $\text{OH}^-$  e  $\text{Cl}^-$  deslocam-se do catodo para o anodo ao passo que os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{H}^+$  vão do anodo para o catodo.

## O potencial eletroquímico

Para que os íons se movimentem, caso não haja gradientes de concentrações, deverá existir uma voltagem elétrica, isto é, um campo elétrico comumente designado como gradiente de potenciais. Normalmente, exis-

te um gradiente de potenciais entre o anodo e o catodo que promove a movimentação dos íons e, como consequência, as reações de corrosão. A força que aciona estas reações alimenta-se das diferenças entre os potenciais eletroquímicos e podem ser medidos pela voltagem elétrica existente com um “eletrodo de referência” externo (semi-pilha). Tradicionalmente, utiliza-se o eletrodo de cobre sulfato de cobre (ESC) que oferece um potencial em relação ao eletrodo de hidrogênio (diferencial) de -320mV. As normas ASTM C876-91 e British Standard 7361 definem os níveis de corrosão com base neste eletrodo (Consulte a RECUPERAR n<sup>os</sup> 6 e 14 para maiores detalhes).

## OS LIMITES DE CONTAMINAÇÃO DO CONCRETO

A concentração dos íons cloretos limite no concreto armado e protendido deve ser investigada com base nas normas existentes, já que é um referencial de bastante importância que liga o grau de contaminação do concreto à surgência de corrosão nas armaduras.

### CONCENTRAÇÕES CRÍTICAS DE CLORETOS NO CONCRETO ARMADO

Norma	% de cloretos por peso de cimento
British Standard CP 11 1979	0,36
ACI (Comitê 201)	0,15 – 0,10
Norma brasileira 6118-78	0,031

Como se vê, há uma grande variação para o chamado valor crítico. Certamente baseado no fato de qual seria o valor para estabelecer o começo da corrosão.

Seja qual for a concentração crítica existirá, sempre, uma relação entre o ambiente que cerca a estrutura e o concreto e, naturalmente, efeitos neste nível necessários para detonar a corrosão. De forma mais precisa, poder-se-á chegar a valores críticos com base na relação entre as concentrações de  $\text{OH}^-$  e  $\text{Cl}^-$  pela fórmula

$$\text{Relação crítica de cloretos} = \frac{C_{\text{Cl}^-}}{C_{\text{OH}^-}} = 0,61$$

Onde:  $C_{\text{Cl}^-}$  é a concentração de íons cloretos e  $C_{\text{OH}^-}$  é a concentração de íons hidróxidos\*. Caso este cociente ultrapasse 0,61, ter-se-á o rompimento do filme passivo de proteção das armaduras. Qualquer incremento na concentração dos íons cloretos, além do nível de iniciação, provavelmente aumentará a taxa de corrosão.

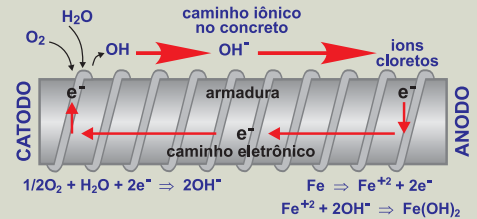
\* Uma forma de se achar a concentração dos íons  $\text{OH}^-$  é pela extração da fase líquida de testemunhos de concreto, com posterior titulação.

### A relação entre os potenciais encontrados e a taxa de corrosão

O valor do potencial obtido pela semi-pilha na superfície do concreto corresponde ao equilíbrio entre os potenciais da reação entre o anodo e o catodo. Situações típicas com estruturas onde há muito sol incidente de dia e diminuição da temperatura com grande ganho de umidade à noite, implica na existência de oxigênio e água livre suficientes para tornar o concreto um bom eletrólito. A taxa de corrosão que acontece em uma estrutura de concreto armado ou protendido será, na maioria dos casos, dependente das reações no anodo, isto é, da dissolução do aço. Logo, quanto mais negativo o potencial, mais rápida é a corrosão. Em números, podemos dizer que uma taxa de corrosão máxima acontece para um potencial de aproximadamente  $-600\text{mV}$  com o ESC. É interessante observar que, para um concreto de alta qualidade, seco, a reação no anodo (corrosão) poderá ser tão insignificante que o aço comportar-se-á como um metal precioso, isto é, sem corrosão. Nesta situação, o potencial medido será praticamente o potencial da reação do catodo,

algo em torno de  $+150\text{mV}$ . Ocorrendo uma perfeita oxigenação teremos, por baixo, uma destruição média de 300g de aço a cada ano por metro quadrado de concreto, o que corresponde a, aproximadamente, 0,5 a 1% do

peso de uma armadura típica. Na verdade, à medida que o volume dos produtos de corrosão aumentam, ocorrerão fissuras e trincas que permitirão um aumento do fornecimento de oxigênio. Em estruturas subaquá-



Desenvolvimento de uma pilha de corrosão com formação de pites. Repare que no catodo o oxigênio é reduzido em presença da água, formando íons hidroxilas. A solução nos poros do concreto atua como eletrólito, completando o caminho iônico do circuito eletroquímico.

"Detectando a corrosão no concreto armado e protendido II."

Não perca

**RECUPERAR**

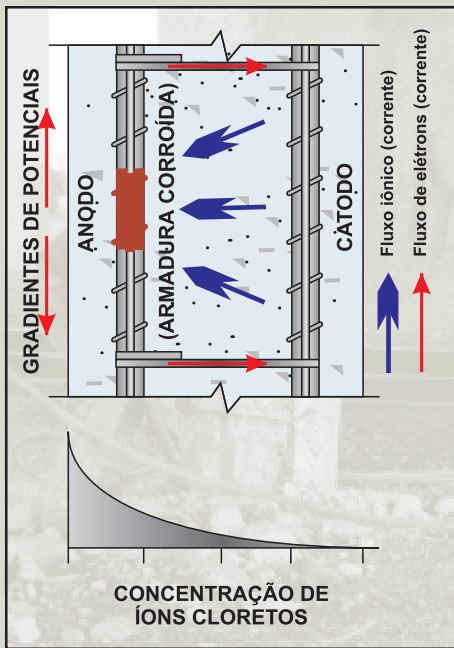
nº 38

"Por favor, estou precisando das normas NACE\* "Proteção catódica para armaduras de concreto e critérios de proteção catódica"



\* National Association Corrosion Engineers

**THOMASTEC**  
www.recuperar.com.br



Mecanismo de corrosão do aço em um pilar com face esquerda exposta à intempérie, devido a gradientes de concentração de íons cloretos, com desenvolvimento de um campo elétrico formando anodos e catodos. O aço, exposto a grandes e diferentes concentrações de íons cloretos, corrói devido ao mecanismo galvânico de corrosão das pilhas de concentração.

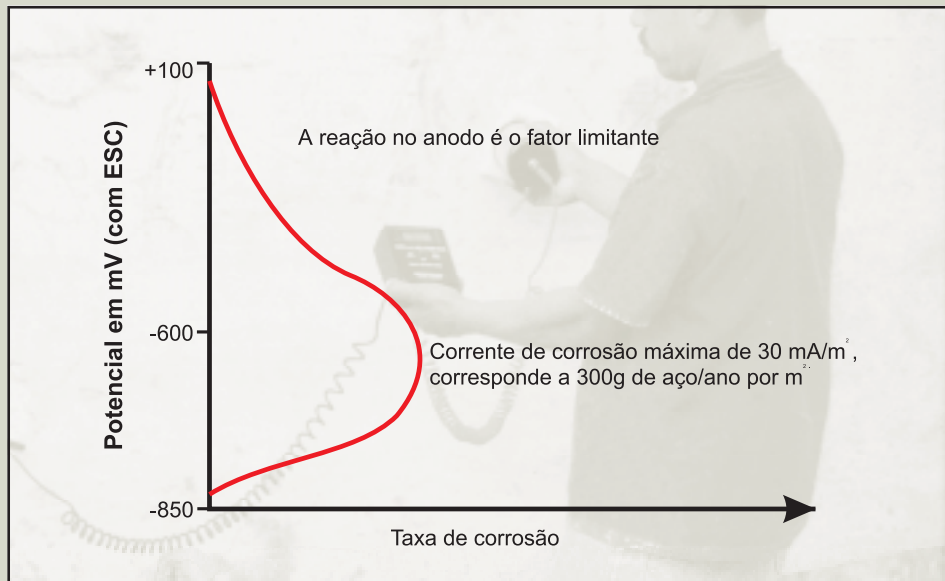
tic, abaixo do nível de batimento das ondas, os poros do concreto ficam saturados d'água, induzindo-nos a acreditar que a difusão do oxigênio seja um fator limitante ao desenvolvimento da corrosão. Ainda assim, poder-se-á ter potenciais bastante negativos mas com taxas de corrosão bem baixas.

Na figura da direita, acima, podemos observar a relação entre potenciais medidos e a análise do desenvolvimento da taxa de corrosão, que nada mais é do que a razão entre a perda de peso da armadura e o tempo.

Experiências evidenciam que encontrando-se potenciais mais positivos que  $-600\text{mV}$  (com o ESC), a corrosão fica limitada pela dissolução do aço (reação no anodo), enquanto que para potenciais mais negativos que aquele valor, o fator limitante será a admissão de oxigênio. A afirmação acima, relacionando corrosão e potenciais, aplica-se à situação de corrosão uniforme e não à denominada corrosão puntiforme, como é o caso das micropilhas (corrosão por pites).

### A corrosão localizada

Aquele filme relativamente inerte que protege o aço da corrosão não é completamente insolúvel. Na verdade é constantemente submetido a danos, regenerando-se. Para que este equilíbrio seja mantido, deverá existir uma certa concentração de hidróxi-



Relação entre a taxa de corrosão (perda de peso do aço/tempo) e o potencial (a  $20^\circ\text{C}$ ). De  $+100\text{mV}$  até  $-550\text{mV}$  a taxa de corrosão aumenta e o potencial diminui. Os potenciais tornam-se mais negativos quando a falta de oxigênio é o fator limitante para a corrosão.

## Só existe uma maneira de interromper a REATIVIDADE ÁLCALI-SÍLICA..



... Para estruturas existentes

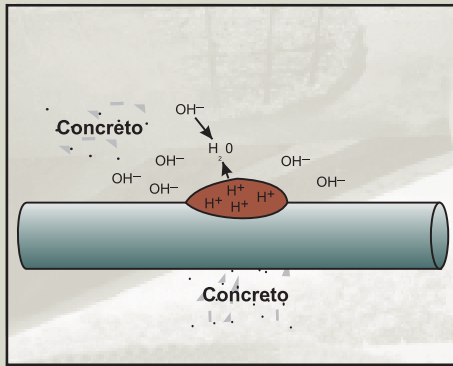
**RENEW®**  
LITHIUM FÓRMULA

... Para estruturas a serem executadas

**LIFETIME®**  
LITHIUM FÓRMULA



Fax consulta nº 364



O desenvolvimento dos pites de corrosão.

dos na superfície da armadura, não necessariamente igual à concentração existente no concreto, determinada pelos seguintes fatores:

- Concentração de hidróxidos na solução existente nos poros adjacentes.
- Concentração de outros íons negativos no líquido circundante, já que os cloretos irão deslocar os íons hidróxidos e, portanto, destruir o filme passivo. Em uma solução aquosa que contenha apenas cloretos e hidróxidos, cuja relação entre concentrações de  $[Cl^-] / [OH^-]$  seja maior do que 0,6, torna-se impossível manter a passividade do filme protetor.
- Correntes galvânicas existentes poderão fazer com que os cloretos sejam expulsos das áreas catódicas e atraídos para as áreas anódicas.

Logo, notar-se-á que o potencial das armaduras afetará o nível de corrosão iniciada pelos cloretos. Quanto mais negativo os potenciais, mais tolerante a cloretos o aço se torna, pelo fato de cargas negativas estarem sendo concedidas à superfície do aço que, naturalmente, tende a expulsar cloretos juntamente com outros íons negativos. Num concreto com ambiente alcalino (concreto que não esteja com carbonatação), a corrosão nas armaduras iniciar-se-á em pequenas regiões bem localizadas, com as áreas catódicas e anódicas bem separadas. Neste caso, as armaduras evidenciarão potenciais variados ao longo da superfície do concreto, sendo que os mais negativos estarão situados nas áreas anódicas. A razão do surgimento de pequenas áreas individuais é que quando o filme passivo é perfurado em um determinado lugar, o potencial neste local torna-se mais negativo. Conseqüentemente, ocorrerá uma diferença de potencial entre a área atacada e a circundante (intacta), suficiente para promo-

ver correntes de corrosão, formando uma célula galvânica.

### O desenvolvimento da corrosão

De um modo geral, a corrosão começa sob a forma de pites que causam a redução da seção do aço, espalhando-se ao longo das armaduras, conforme a figura ao lado.

Quando regiões das armaduras tornam-se anódicas, criam-se aí também ambientes ácidos com conseqüente redução da alcalinidade protetora na interface armadura/concreto.

O problema de haver corrosão generalizada ao longo da superfície do aço ou, simplesmente, corrosão por pites será depen-

dente da quantidade de hidróxidos que existe ou que pode ser fornecido à área corroída sob as seguintes condições:

- Num concreto com carbonatação (veja RECUPERAR nº 25) há muito poucos hidróxidos, permitindo que a corrosão se espalhe lateralmente e de forma rápida. Na prática, este movimento lateral ocorre tão rapidamente que a morfologia da superfície corroída não evidencia pites.
- Na superfície do concreto, sobre a área com desenvolvimento desta corrosão, formam-se fissuras e trincas que permitem o acesso de uma substância alcalina, mas que contém cloretos, chamada água. É comum, nesta situação, haver a intensificação da corrosão apenas nestas áreas, atra-

### Você está tratando minação d'água com produtos de superfície? Tratamentos tópicos apresentam riscos e você sabe disso.

A tecnologia da injeção com poliuretano hidroativado PH Flex ataca, de maneira profunda, a água de onde quer que ela venha. Assim, infiltrações em galerias e paredes de

barragens, paredes diafragma, minações d'água, pisos e poços de elevadores, galerias, metrô e vazamentos em castelos d'água são resolvidos direta e profundamente, sem chance de retorno. Para sempre!



## INJETE PH FLEX.

Fax consulta nº 328

"Eu disse que estou precisando das normas proteção catódica para armaduras de concreto e critérios de proteção catódica, pô!"



Estas normas custam R\$ 30,00 cada para a versão em espanhol e R\$ 60,00 cada para a versão em português. (peça hoje mesmo)

**THOMASTEC**  
www.recuperar.com.br  
Tel.: (21) 493-6862  
Fax: (21) 493-5553

\* National Association Corrosion Engineers

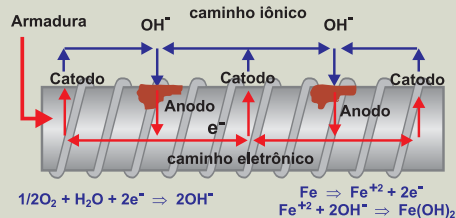
sando o processo de espalhamento lateral citado anteriormente. Esta é uma situação comum que costuma mascarar outras extremamente comprometedoras, não visíveis, e que a maioria das empresas que fazem recuperação estrutural não dão conta, já que se baseiam apenas nos sintomas visuais (terminais) que são os deslocamentos. Por outro lado, lubrifica também o técnico que está levantando os potenciais com a semi-pilha, pois os íons ferro podem estar bem concentrados, não dando sinais de sua produção e, portanto, difíceis de captar. Desta forma, os potenciais e os gradientes de potenciais obtidos poderão indicar apenas pequenas quantidades de corrosão na estrutura, muito embora podendo apresentar grande comprometimento.

Torna-se importante, então, para interpretar um mapeamento feito com os potenciais de corrosão obtidos, conhecer a alcalinidade do concreto. Isto pode ser feito com o lápis medidor de pH, de maneira rápida e eficiente, além do que, também, o levantamento das fissuras e trincas existentes na superfície do concreto. De maneira complementar, torna-se importante o levantamento da resistividade elétrica do concreto, já que com este teste estaremos medindo a resistência ao fluxo da corrente. Quanto maior a resistência, menor as chances de haver contaminação por cloretos e muito menos fluxos de correntes de corrosão. Se encontrarmos uma região localizada com resistividade menor que a circundante, provavelmente estará havendo ingresso de água. Nesta situação, certamente, ocorrerá violenta corrosão por pites. Muito embora a semi-pilha poderá evidenciar gradientes de potenciais bem modestos. Daí retira-se a necessidade da investigação em todo o tipo de juntas, principalmente juntas frias, de concretagem e as nossas fáticas juntas de dilatação de pontes e viadutos que deixam passar tudo, inclusive água.

## Os potenciais e as influências

### Da umidade

De um modo geral, mesmo os concretos mal feitos ou os chamados de baixa qualidade apresentam alguma impermeabilidade e não são bons transportadores de íons, sejam positivos ou negativos, desenvolvendo diferenças em suas velocidades de locomoção e estabelecendo diferentes concentrações ao longo da massa do concreto. Estas diferen-



Pilha de corrosão com formação de dois anodos.

ças de concentração promoverão gradientes de potenciais perfeitamente detectáveis no concreto e que, na verdade, espelham a situação das armaduras, à medida que reações anódicas e catódicas vão acontecendo, com a “necessidade” de serem reabastecidas. Na prática, obtêm-se concretos com altas resistências elétricas, à medida que o sol incide sobre a superfície da estrutura, secando-a. A necessidade de molhar a superfície antes de aplicar o eletrodo da semi-pilha torna-se, portanto, importante, já que apenas desta forma ocorrerá o transporte de água e íons para dentro do concreto, com consequente diminuição da resistência elétrica, tornando possível a leitura dos potenciais. Medindo-se, simultaneamente, a resistência elétrica e os potenciais poder-se-á atestar esta situação. É interessante ressaltar que em concretos úmidos e com presença de cloretos ocorrem gradientes de potencial consideravelmente menores, com pequenos efeitos na elaboração do mapeamento dos potenciais. Os potenciais obtidos, considerando os efeitos da umidade, não deverão ser tomados

como valores absolutos, o que, na prática, não é particularmente importante, já que o mapeamento com a semi-pilha visa apenas detectar danos localizados. Daí, retira-se a necessidade de se checar se a estrutura não foi afetada por qualquer particularidade ou pela ação do tempo na véspera do dia do ensaio. De outra forma, caso a estrutura apresente-se totalmente seca, devido a um grande período de estiagem, ter-se-á, seguramente, valores bem otimistas sobre o seu possível comprometimento. Do modo oposto, supondo-se que a estrutura tenha sido hidrojetada, poder-se-á obter resultados bem pessimistas acerca do seu estado.

### Da temperatura

A verdade é que, para condições com grandes variações de umidade, como a nossa, bastam pequenos aumentos na temperatura para que tenhamos substancial aumento na taxa de corrosão de uma estrutura. Isto pelo fato de que a quantidade de reação no anodo como no catodo aumentam de forma igual com a temperatura.

A temperatura diminui a resistividade do concreto em cerca de 2,5% para cada °C. Como vimos, umidade e temperatura afetam a condutividade do concreto. Quanto maior a umidade e a temperatura, menor a sua resistividade. O efeito da baixa resistividade afetará diretamente grandes áreas catódicas e, portanto, chances sempre maio-

## Recuperação e Reforço Estrutural




Desde 1975




- concreto projetado
- restauração de fachadas
- reforços com fibra de carbono

# TECNIPOL

http://www.tecnipol.com.br

**Fone: (011) 573-0609 Fax: (011) 575-4028**

res de haver grandes taxas de corrosão. Poder-se-á monitorar aumentos na área catódica pelo fato de que os potenciais em torno do anodo tornam-se mais negativos, enquanto que os gradientes de potenciais tendem a ficar menores. No caso do concreto ter alta resistividade implicará em corrosão localizada, sintonizando em pequenas áreas grandes mudanças no potencial. Se o concreto oferece uma pequena resistividade (normalmente quando está molhado pela chuva) logo ter-se-á potenciais mais negativos para grandes áreas.

Desta forma, dever-se-á, sempre, proceder o mapeamento com a semi-pilha em condições de tempo uniformes e iguais de temperatura e umidade, significando que os mapas comparativos deverão apresentar este importante informativo.

#### As fontes de corrente estranhas

A surgência de correntes externas ou estranhas, chamadas de correntes de interferências, podem causar corrosão à medida que circulam pelas armaduras, fechando circuito com um bom aterramento no solo desta estrutura. A área onde a corrente entra será o catodo e estará protegida, ao passo que onde sai das armaduras haverá corrosão. Tanto corrente contínua como alternada causam corrosão. Contudo, a passagem de um ampere de corrente contínua causará maiores efeitos que o da corrente alternada. Estas correntes podem ser monitoradas, de forma fácil, através do mapeamento com a semi-pilha, desligando-se periodicamente a possível fonte de alimentação. Se ocorrerem mudanças significativas nos potenciais encontrados, certamente haverá corrosão. De acordo com a norma britânica BS7361, variações superiores a 20mV já são consideradas como significativas.



#### Fax consulta n° 454

Para ter mais informações sobre corrosão.

Click aqui:

<http://www.recuperar.com.br>

#### REFERÊNCIAS

- Carlos Alberto Monge é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Bennett, L.H. et al. Economic Effects of Metallic Corrosion in the US, NBS Special Publications 511-1, Whashington DC, US Gov. Print. Off.

- Chess P. and Grovold F. Corrosion Investigation: A Guide to Half-cell Mapping, Thomas Telford, London.
- Hausmann, D.A. Steel Corrosion in Concrete, Materials Protection.

- Klinghofer, O. Beton som Korrosionsmiljo, Force Institute, Denmark.
- Tuutti, K. Corrosion of Steel in Concrete, CBI Research, Stockholm.

## Após a limpeza...



## ...Epóxis Subaquáticos.

Estes são os epóxis que efetivamente fazem o melhor trabalho de proteção em sua obra.

#### Epóxi Bio-Seal 182

Epóxi incolor com 100% de sólidos, A + B, aplicado com trincha ou rolo.

#### Epóxi Bio-Dur 561

Pasta epóxica tixotrópica com 100% de sólidos, A + B, estruturada com micro-fibras de Kevlar, aplicável com espátula ou à mão.

#### Epóxi Sub-RG

Epóxi com 100% de sólidos, A + B, aplicado com trincha ou rolo.

Promovem uma efetiva e segura proteção para superfícies de concreto expostas a toda sorte de contaminação do tipo salmouras, gasolina, óleos e produtos cáusticos. Protege superfícies expostas a agentes corrosivos como maresia e ambientes industriais, particularmente sujeitas a ataques de ácido sulfúrico. Indicado exclusivamente para uso profissional em água doce ou salgada. Material com 100% de sólidos.



Fax consulta n° 274

## Testes Não Destrutivos?



**NDT** JAMES INSTRUMENTS INC.  
NON DESTRUCTIVE TESTING SYSTEMS

Fax consulta n° 433



# A corrosão na antiguidade

O desenvolvimento dos métodos para combatê-la ao longo dos séculos.

**Carlos Alberto Monge**

As palavras de Plato (427 – 347 AC) são as mais antigas que se conhecem acerca da descrição do fenômeno corrosão, definindo ferrugem como um componente arenoso que se separava do metal. Georgius Agrícola, dois mil anos depois escrevia em seu trabalho *De Natura Fossilium* que “a ferrugem (do latim ferrugo) é como se fosse uma secreção do ferro, que pode ser protegido contra estes efeitos envolvendo-o com chumbo branco, chumbo vermelho, gesso, betume ou alcatrão”. Gaius Secundus também mencionou o betume, o piche, o chumbo branco e o gesso como protetor do ferro e do bronze contra a corrosão, afirmando que Alexandre, O Grande, fez inúmeras pontes flutuantes (de barcas) no rio Eufrates utilizando estruturas de ferro protegidas com estes artificios. Os conceitos do processo de corrosão (do latim Corrodere, que significa corroer, destruir) apareceram, primeiramente, no tratado de “Tranções filosóficas” de 1667, sem autor definido.

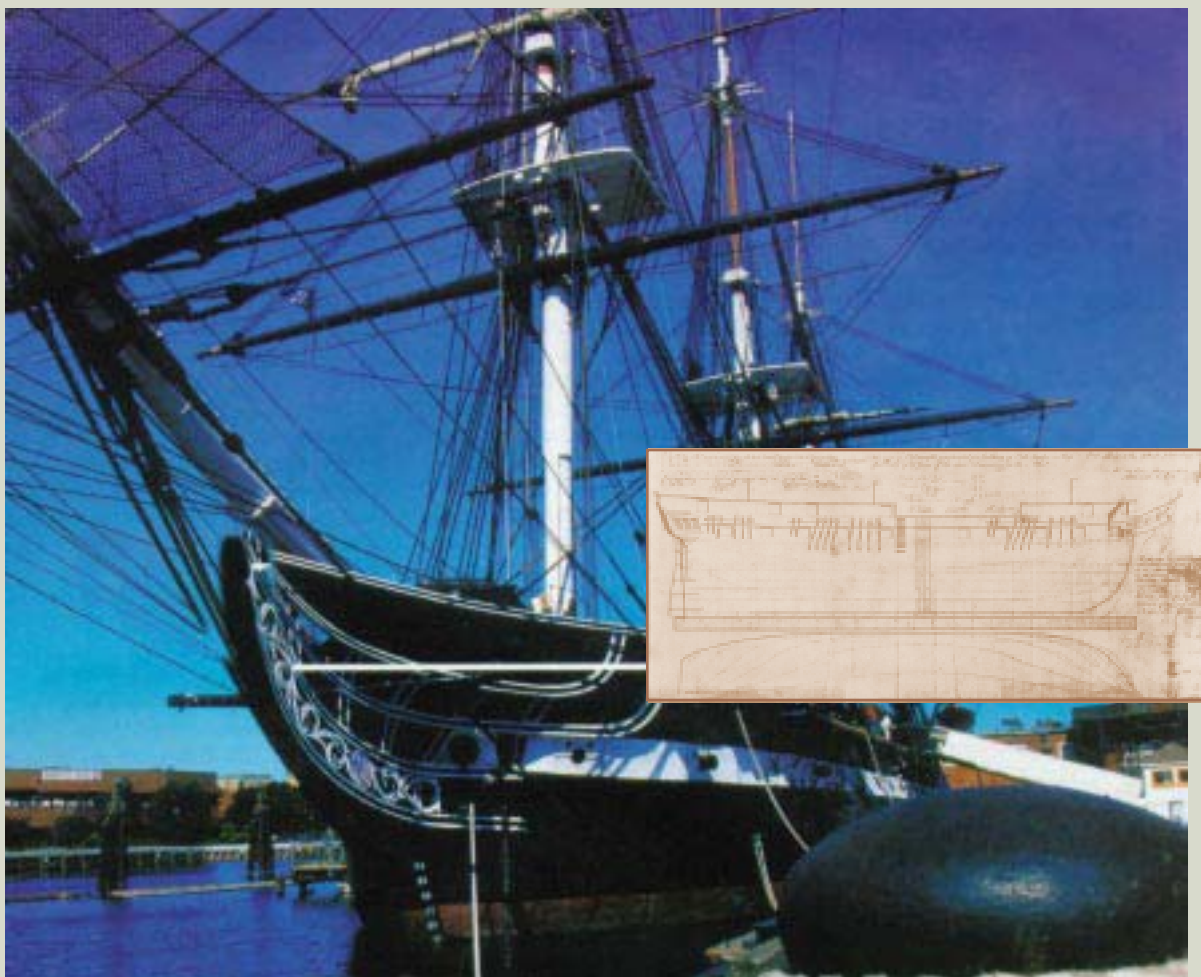
### **A pintura como proteção contra a corrosão**

Antigas estruturas de ferro não tinham tanto problema com a corrosão, e isto é explicado pela qualidade da atmosfera nos últimos séculos, ocorrendo

aquele conhecida película de óxido nas superfícies que, efetivamente, protegia contra o aumento da ferrugem. Uma antiga estrutura em Deli, conhecida como a Coluna Sagrada, foi totalmente feita à mão a partir de um afloramento da rocha de minério de ferro, isto em 410DC. A atmosfera limpa e pura dos séculos seguintes não causaram qualquer problema nesta maravilha, muito embora pouco abaixo do nível do solo, mudado ao longo dos séculos, haja presença de pites de corrosão. Uma amostra desta estrutura, feita com 99,7%

de puro ferro, foi enviada para a Inglaterra e, resumindo, pouco resta devido a qualidade do ar naquela ilha.

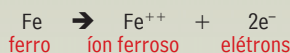
No século XVIII, efetivamente, chegou-se mais uma vez à conclusão de que o ferro e, principalmente o aço, deveriam ser protegidos contra a corrosão. Nesta época, exatamente em 1822, surgem os primeiros relatórios técnicos modernos sobre ferrugem e proteção catódica, propondo-se a usar chumbo vermelho (zarcão) para pintar as estruturas metálicas, a partir do ano de 1885.



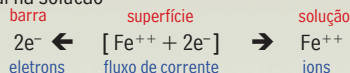
Na figura menor o projeto do navio inglês Sammarang (de 1823), que pela primeira vez utilizou proteção catódica na chapa de cobre que cobria a madeira do convéz. A foto é de um navio parecido.

# A TEORIA ELETROQUÍMICA

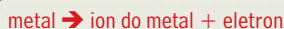
A moderna teoria descreve o átomo como tendo um núcleo central maciço carregado positivamente e envolvido por uma nuvem carregada negativamente de elétrons. Um metal cede elétrons e um não metal aceita elétrons. Desta forma combinam para formar moléculas de sais tendo dois ou mais elétrons em cada átomo, agora modificados para ter uma nuvem de elétrons com camadas preenchidas. Estes átomos modificados são chamados de íons. Uma molécula comum de sal consiste de um átomo de sódio, que cedeu um elétron para seu associado, o átomo de cloro, produzindo um íon metálico carregado positivamente e um íon carregado negativamente chamado cloreto. Se este sal é dissolvido em água, os íons separam-se fazendo com que a solução contenha uma mistura de íons sódio e íons cloretos. A corrosão de uma barra de ferro pode ser resumida como a mudança do metal ferro para o íon ferro ou pela perda de um ou mais elétrons do átomo metálico. Cada átomo de ferro perde dois elétrons, formando o íon ferro.



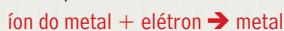
Se uma barra de ferro é posta dentro d'água, o ferro metálico passa para a solução como íon ferroso e o metal assume uma carga negativa a partir do excesso de elétrons que permanece nele. A passagem do átomo metálico para a solução como íon é, portanto, equivalente ao fluxo de corrente elétrica a partir do metal na solução



Dáí comprova-se que a taxa de dissolução de um eletrodo metálico, no caso do ferro, é diretamente proporcional à quantidade de corrente que fluiu e que a quantidade de metal que foi dissolvido é diretamente proporcional à carga total que passou. O eletrodo metálico de onde a corrente flui, na solução, é chamado anodo. O eletrodo metálico para onde a corrente flui, na solução, é chamado de catodo. Portanto, no eletrólito a corrente flui do anodo para o catodo enquanto que, no circuito elétrico a corrente flui, ou é feita para fluir, do catodo para o anodo. Anodo, catodo e o eletrólito formam uma pilha, reação anódica poderá ser



e comumente o metal anódico irá corroer através de sua dissolução com íons metálicos positivos. A reação catódica na pilha será



Em soluções concentradas de íons metálicos o metal por si só será formado e esta é a base da galvanização. Onde a concentração do íon hidrogênio for alta, isto é em soluções ácidas, o "metal" formado será o hidrogênio que será liberado para o catodo. Em soluções que tenham considerável quantidade de oxigênio dissolvido ou outros agentes oxidantes, estes serão convertidos em íons, com o oxigênio formando íons hidroxilas. Veja a figura na página 22.

## A série de potenciais

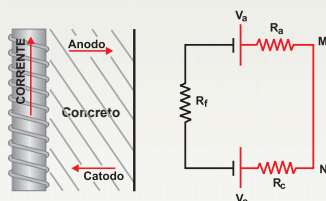
Uma barra de aço, contendo dois metais distintos, é imersa em uma solução salina contendo íons de ambos. Nesta situação, ocorrerá uma diferença de potencial entre os dois metais e, caso sejam conectados por um fio, fluirá corrente também. Está formada uma pilha. É interessante dizer que, caso haja apenas um metal (um eletrodo) na solução chamar-se-á uma semi-pilha, significando que o metal corroerá fluindo pela solução como íons carregados positivamente, deixando, para trás o metal carregado negativamen-

te em virtude do excesso de elétrons nele existente, que por sua vez atrairá os íons carregados positivamente de volta, reduzindo a tendência de maior processo de corrosão do metal. O equilíbrio elétrico só será alcançado, e isto com diferentes potenciais, quando este metal não possuir mais cargas elétricas negativas para atrair os íons positivos de volta para sua superfície. Para se medir esta diferença de potencial nesta semi-pilha (solitária), necessita-se inserir uma outra semi-pilha padronizada, a de hidrogênio. Desta forma, poder-se-á obter potenciais de diversos metais. Veja a tabela na página 23. O potencial de uma determinada semi-pilha pode ser alterado variando-se a concentração do eletrólito, sua temperatura, os gases dissolvidos (particularmente o oxigênio) ou alterando-se o estado físico do metal. Isto significa que, ao invés de se obter uma diferença de potencial usando-se duas peças de metais diferentes em solução salina, poder-se-á usar duas peças de metal iguais, variando-se apenas uma das características que afetam o potencial da semi-pilha.

## A pilha de corrosão

Sobre a importante conclusão acima citada, acerca da variação das características de apenas um dos eletrodos (ou semi-pilha), poder-se-á acrescentar, no caso do aço da construção, variações causadas pela mudança nas propriedades deste metal, devido a:

- laminação parcial de sua superfície.
  - surgência de diferentes metais que o compõem e que afloram em sua superfície.
  - diferenças no trabalho físico da superfície do aço. Por exemplo, uma região sendo jateada e outra permanecer incólume.
  - variações no tratamento térmico.
  - tensões residuais no aço.
- Como vimos, variações na concentração do eletrólito, tanto de um sal particular, íon ou gases reativos dissolvidos, causarão variações similares no potencial. Naturalmente desenvolvendo novas áreas anódicas e catódicas. Poderão também ocorrer variações no potencial devido a variações na temperatura da pilha. A ocorrência destas condições estará sempre ligada a presença da umidade, lembrando que o concreto é um falso sólido, pelo fato de ser extremamente poroso. Nenhuma daquelas condições será exclusiva mas, de forma freqüente, uma ou duas serão predominantes e ditarão a forma e o tipo de corrosão. Poder-se-á, simplesmente, dividir a superfície das barras que compõem a armadura em grandes áreas anódicas e catódicas. Qualquer pilha de corrosão pode ser representada para seu circuito elétrico equivalente.



Circuito elétrico equivalente de uma pilha simples.  $V_a$  e  $V_c$  são os potenciais do anodo e do catodo. O ferro tem resistência  $R_f$ .  $R_a$  é a resistência do anodo e sua interface com o eletrólito. Da mesma forma  $R_c$ , pela lei de ohm  $I = V/R$ . Logo  $V_a - V_c / R_f + R_a + R_c$ , que é a corrente que causa a corrosão no anodo. O valor do numerador está relacionado com as posições dos metais (que compõem o aço) na série eletroquímica, com a resistividade do concreto e a sua interface com o aço.

## Os potenciais da pilha de corrosão

As leituras dos potenciais de corrosão são feitas, geralmente, com uma semi-pilha de cobre sulfato de cobre (ESC). Como pode ser visto no diagrama do circuito elétrico, poder-se-á obter diferentes valores de voltagem apenas variando o ponto de colocação do eletrodo da semi-pilha.

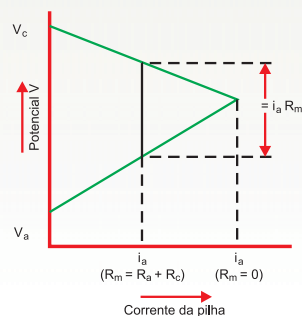
É preciso entender, para as nossas condições, que o aço normalmente está situado abaixo de uma camada mínima de 10mm, que pode variar, digamos, até 50mm, de um concreto resistente a eletricidade através do qual flui a corrente de corrosão. Naturalmente introduzindo quedas no potencial apresentadas pela relação IR (lei de ohm  $V = RI$ ), onde I é a corrente de corrosão e R é a resistência por onde passa a corrente. Estas quedas de potencial causam problemas na hora da leitura dos potenciais com a semi-pilha.

## A corrente da pilha de corrosão

De acordo com a lei de ohm ( $I = V/R$ ), um aumento na resistência total da pilha causará uma diminuição em sua corrente. Por outro lado, uma diminuição em sua resistência provocará efeito oposto. Daí, depende-se que concretos com baixa resistividade aceleram a corrosão das armaduras. À medida que a corrente da pilha formada varia com as mudanças na resistência do circuito (do concreto, interfere concreto/aço e do próprio aço) alterará também a diferença de potencial ( $V_a - V_c$ ) existente ou a voltagem propulsora da corrosão. Estas alterações ou diferenças na voltagem propulsora que empurra todo o processo de corrosão também são decorrentes da diferença entre os metais que compõem o aço e sua situação na série eletroquímica, sendo que quanto maior a distância entre eles na série, maior a força da corrosão.

## Polarização

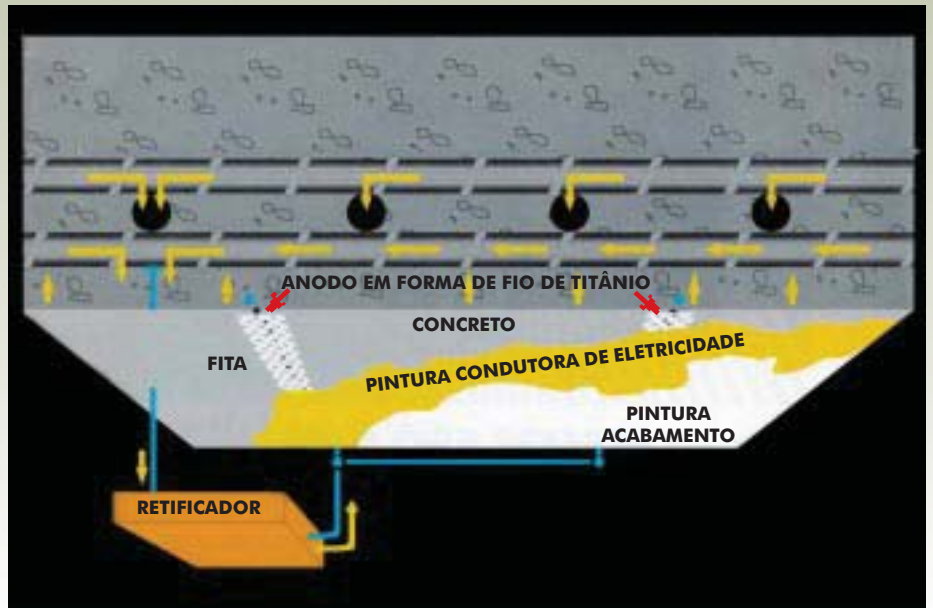
Efetivamente, a passagem de corrente pela pilha altera a voltagem inicial propulsora da corrosão ( $V_a - V_c$ ). Como teste, poder-se-á medir as voltagens iniciais do anodo e do catodo. À medida que passa corrente pela pilha, inicia-se um processo de corrosão, alterando-se as voltagens iniciais, passando-se a chamar agora de voltagens de corrosão. A variação que ocorre na voltagem de corrosão, em função da passagem de corrente, chama-se polarização. Como o potencial do anodo tende a aumentar e do catodo tende a diminuir, obter-se-á, em pouco tempo, um valor comum. Com isto, podemos dizer que ocorreu uma polarização nos eletrodos, ou seja, uma polarização anódica no anodo e uma polarização catódica no catodo. No gráfico abaixo confirma-se e a explicação acima, mostrando-se que a partir da situação inicial cheia com  $V_a$  e  $V_c$ , ter-se-á variações nos potenciais com um mesmo valor de corrente para ambas as retas, lembrando que (como  $V = RI$ )  $V_a - V_c$  é igual a corrente I que flui no circuito multiplicado pela resistência total do circuito de corrosão. É importante dizer que a intensidade do processo de corrosão dependerá da relação existente entre as duas áreas superficiais ativas do catodo e do anodo, estabelecendo-se, a partir daí, o termo densidade da corrente, ou seja, corrente por unidade de área.





## COMO É A PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA (PCCI)

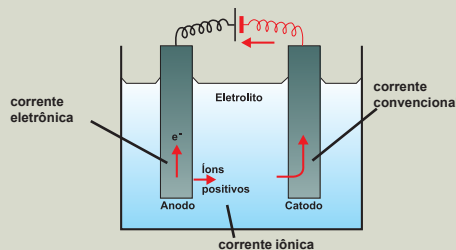
Um sistema de proteção catódica (PC) por corrente impressa é bem complexo e exige um bom anodo, uma fonte de corrente contínua (cc), um sistema de monitoramento que inclui eletrodos de referência e cabos para transportar a corrente e um painel de controle. O terminal positivo da fonte de corrente contínua é conectado a um material condutivo e bastante resistente (anodo) normalmente o titânio (Ti). O terminal negativo é conectado à armadura (catodo), aplicando-se uma pequena quantidade de corrente contínua. Com isto, promove-se um fluxo de elétrons a partir do anodo passando pelo concreto até às armaduras. A corrente aplicada é, então, aumentada a um nível que fará contraposição ao fluxo de elétrons provenientes das regiões em estado de corrosão. Com isto, a armadura torna-se catódica em relação ao metal anódico aplicado, interrompendo-se a corrosão. É um sistema complexo que exige regulagens frequentes. Existem diversos tipos de PCCI.



PC por corrente impressa com pintura energisante (ver detalhes na RECUPERAR nº 5).

### A proteção catódica e sua história

Em 1936 foram encontrados em Bagdá inúmeros jarros de barro com 14cm de altura, da época do império romano (27 AC a 395 DC), contendo, cilindros de cobre (Cu) com miolo de ferro, revestidos com piche. Acredita-se que estas peças sejam baterias usadas para dourar pequenas peças de joalheria utilizando-se processo eletroquímico. Este achado prova que a eletricidade galvânica antecede a Galvani (1789). A atração que ocorre com a bola de âmbar, além de outros efeitos da eletricidade eram co-



Uma pilha simples, com anodo, catodo e eletrólito. Na interface do metal/eletrólito (eletrodo negativo) ocorre a reação anódica, com a dissolução do metal em íons metálicos. No eletrodo positivo (catodo) os elétrons tanto combinarão com os íons positivos quanto poderão reduzir o oxigênio (os íons negativos), sendo que em ambos os casos criando deficiência de elétrons. Elétrons irão fluir do anodo para o catodo através do fio de ligação. A corrente convencional irá fluir do catodo para o anodo, pelo mesmo fio, sendo transportada de volta para o catodo pelo eletrólito.

nhcidos nos tempos antigos. Grandes pregos encontrados em galeras romanas naufragadas, evidenciavam que os romanos já dominavam o conhecimento do fluxo de corrente elétrica devido a corrosão por contato. Nas galeras usava-se uma película de chumbo (Pb), pregada com pregos de cobre (Cu) para proteger os pranchões de madeira contra as traças e o gusano. Sabendo que a união dos pregos de cobre com o chumbo, metal menos nobre, em contato com a água do mar, provocaria um rombo na película de chumbo. Isolavam as cabeças dos pregos também com chumbo. Desta forma, o fluxo de corrente galvânica era



**O problema em pisos epóxicos começa localizado. Logo, logo torna-se disseminado.**

**A solução é o  
TVA-OK**

O problema resume-se em manchas, bolhas e deslocamentos. Enfim, o piso epóxico que você aplicou logo, logo estará comprometido. Por quê? A questão resume-se em um teste obrigatório que deveria ter sido feito antes da aplicação da pintura: o teste da transmissão do vapor d'água (TVA), conforme recomenda a norma ASTM F1869-98. Sem o TVA-OK, todo seu investimento poderá estar sofrendo com as tensões originadas pela saída do vapor d'água do piso de concreto. Só o TVA-OK identifica o maior causador de problemas em pisos epóxicos.

Não arrisque mais. Faça hoje mesmo o TVA-OK.

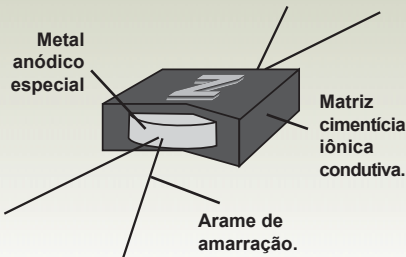


**Fax consulta nº 358**

## COMO É A PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE GALVÂNICA (PCCG)

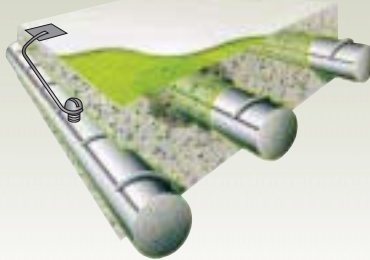
A proteção catódica por corrente galvânica pode ser feita com pastilhas galvânicas, através de mantas de zinco que vêm com adesivo iônico ou com zinco termo projetado.

### PCCG COM PASTILHA GALVÂNICA



Esquema de PC por corrente galvânica com pastilha.

### PCCG COM MAZ



Esquema de PC por corrente galvânica com manta de zinco e adesivo iônico.

eliminado e, conseqüentemente, a corrosão do chumbo era evitada.

O conhecimento moderno da eletricidade galvânica baseia-se nos experimentos de Galvani, em 1789, usando as famosas pernas de uma rã. Alguns anos mais tarde, em 1797, Alessandro Volta descobriu o arco voltaico, produzindo corrente a partir de uma pilha elétrica. Apenas dois anos antes, Alexander Von Humbolt já tinha descoberto o processo inverso, a eletrólise, fazendo uma pilha eletrolítica com eletrodos de zinco (Zn) e prata (Ag) em um eletrólito aquoso. É inte-

### SÉRIE ELETROQUÍMICA POTENCIAIS DE OXIDAÇÃO (OXI-REDUÇÃO)

Reação	Potencial padrão em relação ao eletrodo de hidrogênio (volts)
$Mg^{++} + 2e \rightleftharpoons Mg$	-2,372
$Ti^{++} + 2e \rightleftharpoons Ti$	-1,63
$Zn^{++} + 2e \rightleftharpoons Zn$	-0,7618
$Fe^{++} + 2e \rightleftharpoons Fe$	-0,447
$Pb^{++} + 2e \rightleftharpoons Pb$	-0,126
$Sn^{++} + 2e \rightleftharpoons Sn^{++}$	0,151
$Cu^{++} + 2e \rightleftharpoons Cu$	0,3419
$Au^{+} + e \rightleftharpoons Au$	1,692

↑  
Maior tendência à corrosão

ressante ressaltar que Ritter, em 1798, informava que a série eletroquímica dos metais era idêntica ao seu processo de oxidação.

Nesta época, o almirantado inglês dava a

incumbência a Humprey Davy e Michel Faraday de proteger seus navios de guerra (de madeira), revestindo-os com cobre, sem que o mesmo oxidasse no contato com a água do mar. Acreditavam que mudanças químicas e elétricas ocorriam de forma idêntica e que forças provenientes das reações químicas poderiam ser diminuídas ou aumentadas pela alteração do estado elétrico do material. “Se metais tiverem cargas elétricas diferentes, poder-se-á combiná-los de maneira proveitosa”, pelo fato de que se um metal com carga positiva for carregado de forma negativa, artificialmente, as forças da ligação serão destruídas, não podendo participar das reações da corrosão. O termo “eletroquímico” nasceu nesta época, ao mesmo tempo em que começava-se a compreender que para dominar efetivamente o processo de corrosão dever-se-ia usar proteção catódica com corrente galvânica. “Se o cobre (bastante usado na época e originalmente com carga positiva) torna-se negativo (isto é, um catodo) então todas as reações químicas, inclusive as de corrosão, serão evitadas”. Para explicar esta asserção, Faraday e Davy fizeram experimentos com placas de cobre imersas em água do mar, levemente ácida. Soldaram um pedaço de estanho (Sn) em apenas uma placa de cobre e, ao final de três dias, todas as placas de cobre apresentavam corrosão intensa, menos a que tinha sido aderida com estanho.

## Epóxis de alta performance para pisos de concreto.

Nossa experiência em pisos epóxicos para indústrias começou há 33 anos atrás. Nossa especialidade são os pisos sujeitos a ataque químico severo e a grande trabalho de abrasão.

Peça-nos, hoje mesmo, cotação para o seu próximo piso epóxico.

Fax consulta nº 430



2º ANO

3º ANO

# CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE

Indústrias de  
processamento químico

Estruturas  
offshore

**PASTILHA** Z

4º ANO

5º ANO

## CONCRETO ARMADO



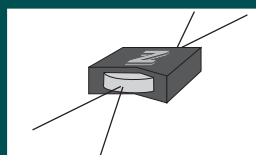
Pontes e viadutos

Edificações costeiras

**Disponível em 3 tamanhos. Um deles adequado à sua obra.**

Sua única garantia (efetiva) contra o não surgimento da corrosão no concreto armado e no concreto protendido.

Aplicável em obras novas ou em serviços de recuperação estrutural



Fax consulta nº 400

Um outro experimento interessante foi feito com uma placa de cobre soldada a um pedaço de ferro conectada a um pedaço de zinco. Note que, além do cobre, poder-se-ia proteger também o ferro. Estes pesquisadores, com este conhecimento, em 1824, ficaram ricos, protegendo todo o cobre que revestia a madeira e o ferro fundido dos canhões da frota de guerra inglesa. Após a morte de Davy, em 1834, Faraday descobriu que a corrosão do ferro acontecia de forma mais rápida na superfície da água do mar do que totalmente imerso. Existia, pois, uma relação quantitativa entre corrente elétrica e perda de peso pela corrosão. Já em 1890, Thomas Edson, sempre inovando, já aplicava em navios com casco metálico proteção catódica com corrente impressa, utilizando corrente externa sem muito sucesso pois a fonte de eletricidade e o material anódico empregado eram inadequados. Somente em 1902, K. Cohem teve sucesso com proteção catódica por corrente impressa.

#### Fax consulta nº 455

Para ter mais informações sobre Corrosão, click aqui:

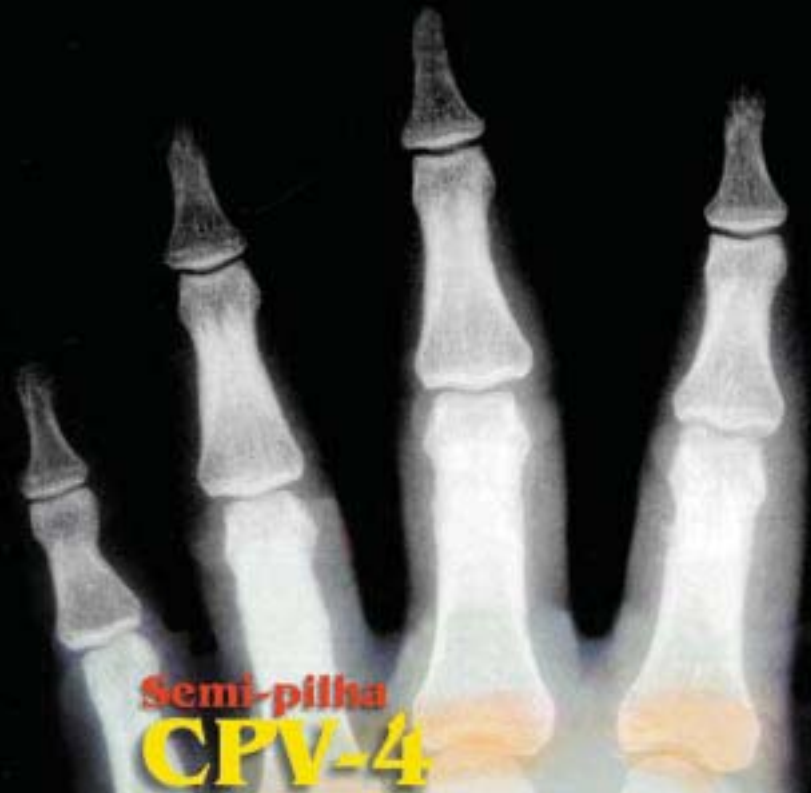
<http://www.recuperar.com.br>

#### REFERÊNCIAS

- Carlos Alberto Monge é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Chess P. and Grovold F. Corrosion Investigation: A Guide to Half-cell Mapping, Thomas Telford, London.
- Dawson, J. L. Corrosion monitoring of steel in concrete, in Crane A. P. (ed.), Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, The Society of Chemical Industry/Ellis Horwood Ltd.,
- Gower, M.R. and El-Belbol, S.M.T. Cathodic protection of reinforced concrete - which anode? Expected in International Congress, Concrete in the Service of Mankind, Conference 5, Concrete Repair, Rehabilitation and Protection.
- Pullar-Strecker, P. Corrosion Damaged Concrete - Assessment and Repair, CIRIA, Butterworths.
- Sergi, G. and page, C.L. Advances in electrochemical rehabilitation techniques for reinforced concrete, Proceedings of UK Corrosion 95, Day 1, SP Conferences.
- Kessler, R.J. Powers, R.G. and Lasa, I.R. "Zinc Sheet Anodes with Conductive Adhesive for Cathodik Protection". Materials Performance.
- Hartman, R.B. and Wehling, J.E. "A Galvanic Zinc-Hydrogel System For Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures". Presented at Internacional Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures in Orlando.

## Corrosão no Concreto Armado

É perigoso avaliar o estado de corrosão apenas pelos sintomas terminais.



Somente a semi-pilha CPV-4™ é aquele estado de corrosão que irá acontecer, já que identifica as células eletroquímicas existentes nas armaduras do concreto "bom" e que, certamente, irão comprometer sua estrutura. Não arrisque. Antes de fazer sua proposta de recuperação para estruturas de concreto armado afetadas por corrosão, "veja" também a situação das armaduras do concreto "bom". É mais seguro. Seu cliente irá gostar. E tecnologia. Consulte-nos hoje mesmo.

Fax consulta nº 351



NOVA **KABC**  
FUNDAÇÕES LTDA.

**SONDAGEM A PERCUSSÃO**

(11) 4432-0412  
e-mail: novaabc5@aol.com

Na RECUPERAR você encontra uma verdadeira assessoria técnica para o seu problema, em construção.

Assine

**RECUPERAR**

(21) 493-4702



# Proteção catódica rápida e fácil

Um exemplo prático de aplicação de proteção catódica, feita com MAZ, para tirar qualquer dúvida.

## Carlos Carvalho Rocha

Processos localizados de corrosão poderão ser tratados com anodos de sacrifício à base de pastilhas galvânicas (Pastilhas Z), interrompendo o problema. A eficiência do tratamento é aferida comparando-se o mapeamento dos potenciais antes e após o tratamento, cerca de três a quatro dias após a cura da argamassa/concreto de recuperação que cobre as pastilhas. Os potenciais, nas regiões tratadas com as pastilhas, deverão se situar acima de  $-600\text{mV}$ . Para maiores detalhes acerca do uso de pastilhas galvânicas, veja RECUPERAR n° 33.

O tratamento para grandes regiões, no entanto, poderá ser feito com um outro tipo de anodo de sacrifício, a MAZ, ou manta aderida de zinco, que cobre grandes áreas e é extremamente fácil de aplicar.

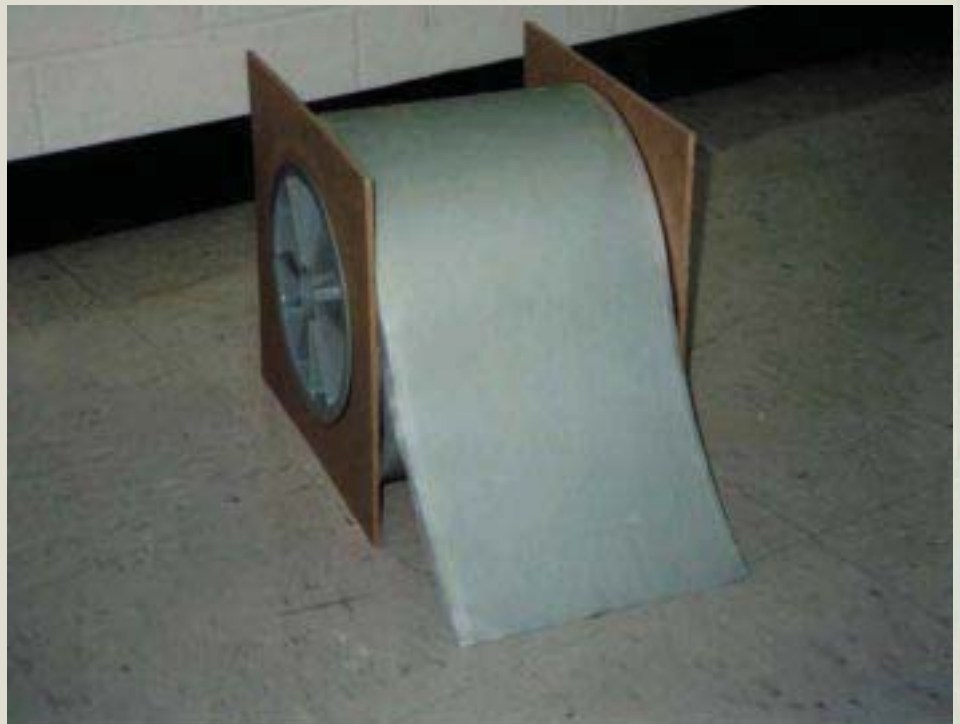
A título de facilitar a compreensão deste tratamento, apresentaremos a seguir uma especificação, bastante interessante, sobre o uso da proteção catódica feita com MAZ.

### Descrição geral

O propósito deste tratamento é interromper os processos de corrosão que existem na estrutura, através da instalação do anodo galvânico MAZ (Manta Aderida de Zinco).

### Descrição do produto

A MAZ consiste em uma manta de zinco revestida com um auto-adesivo ionicamente condutivo que é protegido por uma película plástica fina, de modo a evitar sua contaminação. No momento da aplicação, a película é removida ao mesmo tempo em que far-se-á a aderência da MAZ na superfície



A MAZ é fornecida em rolos com 27m de comprimento e 25cm de largura.

do concreto, previamente limpo e preparado. O auto adesivo da MAZ, permite que o anodo seja firmamente aderido na superfície da estrutura de concreto, promovendo o fluxo de corrente elétrica necessário, já que funciona como um excelente eletrólito, captador também da umidade necessária à existência da corrente elétrica de sacrifício. Por se tratar de um anodo de sacrifício não necessitará de qualquer ligação externa.

### A MAZ É FORNECIDA EM ROLOS, TENDO AS SEGUINTE PROPRIEDADES:

Espessura da manta de zinco .....	0,25mm
Espessura de Adesivo (resina acrílica ionicamente condutiva) .....	0,75mm de espessura
Filme plástico de proteção (polietileno) .....	0,10mm de espessura
Largura da manta .....	25cm
Comprimento da manta .....	27,4m
Cor .....	cinza
Tempo de estocagem .....	6 meses na caixa original



Postes situados à beira mar também são protegidos pela MAZ.

### Projeto

Dever-se-á promover a execução do projeto detalhando-se as regiões da estrutura em que será aplicada a MAZ, fornecendo-se também o catálogo do produto.

### A preparação da superfície do concreto

A preparação é feita, removendo-se qualquer pintura existente na superfície, assim como a nata superficial, utilizando-se lixadeiras, com lixa nº 36 de carborundum, objetivando-se uma superfície lisa e ausente de pó. É contra indicada no caso de protu-



Ferro de soldar aquecido a gás.

berâncias ou reentrâncias superiores a 5mm. Após o lixamento, poder-se-á fazer um hidrojateamento. Nas áreas onde houver deslocamentos e/ou armaduras expostas, dever-se-á remover a corrosão com escova de aço ou hidrojateamento de areia, aplicando-se um revestimento simples à base de argamassa de cimento e areia (traço 1:3) sem qualquer incorporação de aditivos ou agentes de colagem, já que inibem o fluxo de corrente. Desejar-se-á para a argamassa de recuperação resistividade inferior a 50k ohms.cm. A MAZ deverá ser aplicada após a secagem da superfície, embora seu adesivo iônico seja insensível à umidade.

### A continuidade elétrica nas armaduras

O propósito de se checar a continuidade elétrica nas armaduras da estrutura é assegurar a continuidade do tratamento da proteção catódica, sem que haja qualquer interrupção. A ausência de continuidade, o que normalmente é feito com o arame de armador (queimado), interromperá o fluxo de corrente tornando pouco eficiente o traba-

# TRINCAS COM MOVIMENTOS?



## EPÓXI 36 o semi-rígido

A melhor solução para as trincas problemáticas que têm movimento é com o EPÓXI 36. Ele adere de forma excelente nas bordas, permitindo que a trinca "trabalhe" adequadamente, sem comprometer o resto do piso. As juntas serradas também devem ser tratadas com EPÓXI 36.

Use Tecnologia.

## Use EPÓXI 36



Fax consulta nº 445

## OCEANIC Serviços Submarinos



- Inspeção em Estruturas Submersas.
- Medição de Espessura por Ultra-Som.
- Ensaios Não Destrutivos / Medição de Potencial Eletroquímico.
- Inspeção por Partículas Magnéticas.
- Registros Fotográficos.
- Levantamentos Topo-batimétricos.
- Aplicação de massa epóxi / Injeção de Graut e Resinas.
- Concretagens Submersas.

Rua Calubi, 324/14 - Perdizes - 05010-000 - São Paulo/SP  
Fones: (11) 931-5164 e 864-0094 • Fax: (11) 262-5411



Diversas travessas e pilares na ponte I-95 em Richmond (Virgínia) com aplicação de MAZ.

lho da MAZ. Para tanto, dever-se-á dividir a estrutura em regiões, por exemplo, de 100m<sup>2</sup> cada, para se checar a continuidade elétrica em, pelo menos, metade das áreas, além de, principalmente em regiões onde há armaduras expostas, com um simples voltímetro digital (custo aproximado de R\$ 70,00). O teste é feito medindo-se a queda da voltagem (em milivolts) entre as regiões averiguadas. Leituras menores do que 1,0mV indicam continuidade elétrica. Preferencialmente, dever-se-ão checar a continuidade elétrica das armaduras e sua efetivação durante trabalhos de recuperação estrutural, não se esquecendo das camadas de armaduras mais internas. O teste deverá ser feito primeiro testando-se os locais das armaduras com um detector de metais. O segundo passo é fazer furos com broca SDS Plus de 6mm até a armadura. Com uma bro-

ca de aço rápido, de diâmetro idêntico, far-se-á um leve contato com a armadura, de modo a limpar sua superfície. O teste com o voltímetro poderá ser feito fazendo o contato entre furos, utilizando-se a própria broca como contato com o aço. As regiões, porventura ausentes de continuidade, poderão ser “incorporadas” às demais, soldando-se um fio nº 10 AWG revestido com solda érico ou solda de contato ou simplesmente soldando-se uma barra de 6mm de diâmetro. O reparo deverá ser feito com argamassa de cimento e areia, sem aditivo. Dever-se-á detalhar estes procedimentos.

### Os eletrodos de referência

Os eletrodos de referência, a serem instalados de forma permanente, deverão ser de prata-cloreto de prata (ECP), com fio nº 10

AWG, totalmente isolado, de modo a chegar às caixas de controle a serem instaladas. Sua instalação deverá ser feita nas regiões onde há potenciais maiores do que – 350mV, medidos com a semi-pilha, de acordo com a ASTM C876. Seu fio de ligação à armadura deverá ser soldado com solda érico ou de contato. A instalação do ECP deverá ser feita, utilizando-se uma serra do tipo makita para ser embutida no concreto.

### As caixas de controle

Estas pequenas caixas de plástico com dimensões de 10cm x 10cm ou 10cm x 5cm servem para acessar os fios que vêm da armadura (vermelho), do anodo (preto) e do eletrodo de referência. Com estes fios poder-se-á checar os potenciais com o eletrodo de referência (inclusive aferindo-se a semi-pilha), a corrente proveniente do anodo (MAZ) e a eficiência do sistema instalado, medindo-se as depolarizações. O fio vermelho fica ligado ao fio preto, através de um conector.

### Aplicando a MAZ

A aplicação da MAZ é feita desenrolando-se a manta e extendendo-a na maior direção da estrutura. Normalmente, retira-se 30cm do filme plástico que forra o adesivo (da ponta do rolo) e aplica-se a manta na superfície do concreto, facilitando o serviço. A fixação da manta é feita com a mão, utilizando-se um rolo de borracha, assegurando-se um



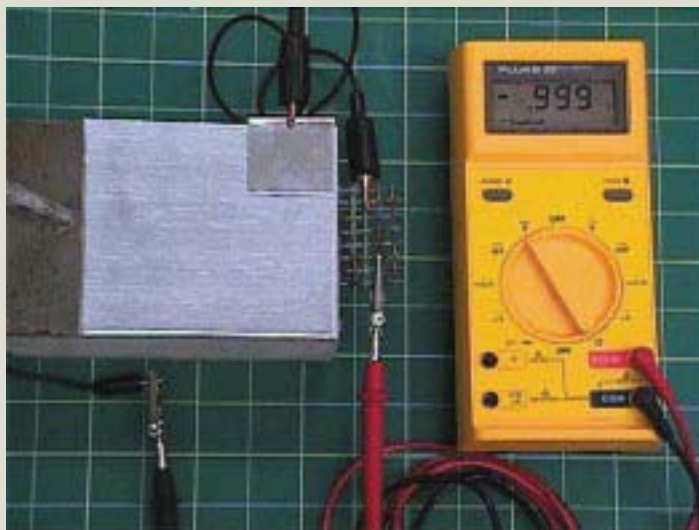
As maiores aplicações da MAZ são em bases de pilares de edificações, muito embora há a alternativa mais barata do tratamento com pastilhas, devido à pequena quantidade de armadura a ser protegida.



perfeito contato do adesivo com a superfície do concreto.

As faixas da MAZ que serão aplicadas subsequentemente deverão ficar afastadas umas das outras em torno de 5cm. Após a instalação das faixas da MAZ, dever-se-á abrir pelo menos 2 orifícios quadrados, com 5cm de lado, em sua superfície, de modo a se utilizar a semi-pilha para leituras futuras. Todos as bordas (perímetro) da MAZ deverão ser calafetadas com um elastômero de poliuretano em cartucho, de modo a impedir que o acesso de água ou umidade atinja o adesivo iônico.

O calafetamento também impede que as bordas da MAZ possam levantar, em função de excessivo vapor d'água proveniente da massa do concreto. Para esta situação e onde qualquer esforço mecânico possa comprometer a adesão da MAZ, poder-se-á aplicar também pinos de plástico em buracos previamente feitos. Após a instalação da MAZ, dever-se-á interligar as faixas com pequenas tiras de zinco com dimensão de 5cmx20cm, tendo 250 micrômetros de espessura, soldando-as nas



Exemplo, em laboratório, da ligação da armadura com a MAZ e a medição do potencial com um multímetro.

extremidades da MAZ com a utilização de um pequeno ferro de solda.

### A ligação da MAZ

Dever-se-á fazer a ligação da MAZ às armaduras, usando-se um dos dois métodos a seguir. Caso haja dificuldade de encontrar a armadura, poder-se-á utilizar um simples detector de metais.

a) Uma vez exposta uma barra da armadura, far-se-á um pequeno furo com 6mm de diâmetro e 6mm de profundidade. A seguir, com um macho, abra uma rosca do tipo comercial, com apenas 4 passos de rosca.

b) Use solda érico ou solda de contato. Com um destes métodos, far-se-á a fixação de um fio de cobre convencional, revestido, nº 14 AWG, à armadura, utilizando-se um pequeno parafuso. Esta fixação deverá ser coberta com argamassa epóxica, de modo a que a ligação fique estanque à penetração de água ou umidade.

Cubra a região da ligação com argamassa, conforme especificado anteriormente, deixando cerca de 20cm de fio para fora do concreto. As duas primeiras ligações deverão ser feitas a cada 70m<sup>2</sup>, passando-se para cada 90m<sup>2</sup> as subseqüentes. Uma mesma barra da armadura não deverá receber mais de uma ligação, de modo a assegurar a continuidade elétrica a todas as barras da estrutura nas áreas de tratamento.



## ELE ESTAVA TODO CONTAMINADO...

Contaminação no concreto armado e protendido é fatal. O que se pode fazer para sabermos se o concreto está ou não contaminado? CHLOR-TEST é a única maneira de verificarmos se há ou não contaminação por íons cloretos, esses "bichinhos" que ativam a massa do concreto, tornando-a um "inferno" para o aço. CHLOR-TEST é um teste high-tec que, em apenas 3 minutos, o informa da existência daqueles bichinhos e sua quantidade. CHLOR-TEST é vendido em 3 versões:

**CHLOR-TEST "S"** - para averiguar o estado de contaminação de superfícies de concreto e metálicas.

**CHLOR-TEST "W"** - para checar a presença de concentrações perniciosas de cloretos na água de amassamento.

**CHLOR-TEST "A"** - para verificar se sua areia de jateamento está ou não contaminada com cloretos.

Contaminado já basta o aí de cima.  
Use **CHLOR-TEST**



Fax consulta nº 402

## DOIS EXEMPLOS DA APLICAÇÃO DA MAZ

### Varandas de edificação à beira mar

- Data da instalação: Outubro de 1994
- Localização: Praia Del Ray, Flórida
- Dimensões das varandas: 2,40m x 4,50m = 10,8m<sup>2</sup>.
- Área de armaduras: 0,27m<sup>2</sup> de seção de aço para cada 1m<sup>2</sup> de concreto ou 2,92m<sup>2</sup> de seção de aço na varanda.
- Atividade de corrosão medida com semi-pilha: -360mV (média de 128 leituras)
- Corrente elétrica após a instalação da MAZ (23h após):  
Total - 231mA  
Densidade de corrente no concreto - 21,4mA/m<sup>2</sup>  
Densidade de corrente nas armaduras - 79,1mA/m<sup>2</sup>
- Polarização após a instalação da MAZ (23h após):  
Foram feitas leituras da queda dos potenciais no instante do desligamento (depolarização instantânea), comparando-se com a média dos potenciais originais. A norma NACE RPO 0290-90 indica que existe proteção adequada quando há uma diferença mínima de -100mV  
leitura menor ..... 122mV de polarização  
leitura maior ..... 308mV de polarização



A MAZ aplicada na laje da varanda. A seguir, foi aplicado revestimento cerâmico.

### Extremidades das vigas (longarinas) protendidas e travessas da ponte Pottsdown road em Peoria, no estado de Illinois.

- Data de instalação: Outubro de 1997
- Localização: Ponte sobre a Pottsdown road, no bairro de Peoria, estado de Illinois.
- Atividade de corrosão existente através da instalação da MAZ (média): -394mV
- Características da MAZ instalada:

Data de leitura, 21 meses após: maio/99	Local de leitura	Densidade de corrente mA/m <sup>2</sup> de MAZ	Corrente existente (mA)	Potenciais existentes (mV)	Depolarização instantânea* (mV)	Depolarização após 1 hora (mV)
	Viga A	1,7	4,0	-606	-460	-240
	Viga B	1,3	3,0	-465	-394	-189
	Viga C	2,1	5,0	-524	-434	-217
	Viga D	1,7	4,0	-621	-509	-236

\* é a medida dos potenciais imediatamente após o desligamento do sistema (MAZ). Mantendo-se o sistema desligado durante uma hora, volta-se a fazer nova leitura.

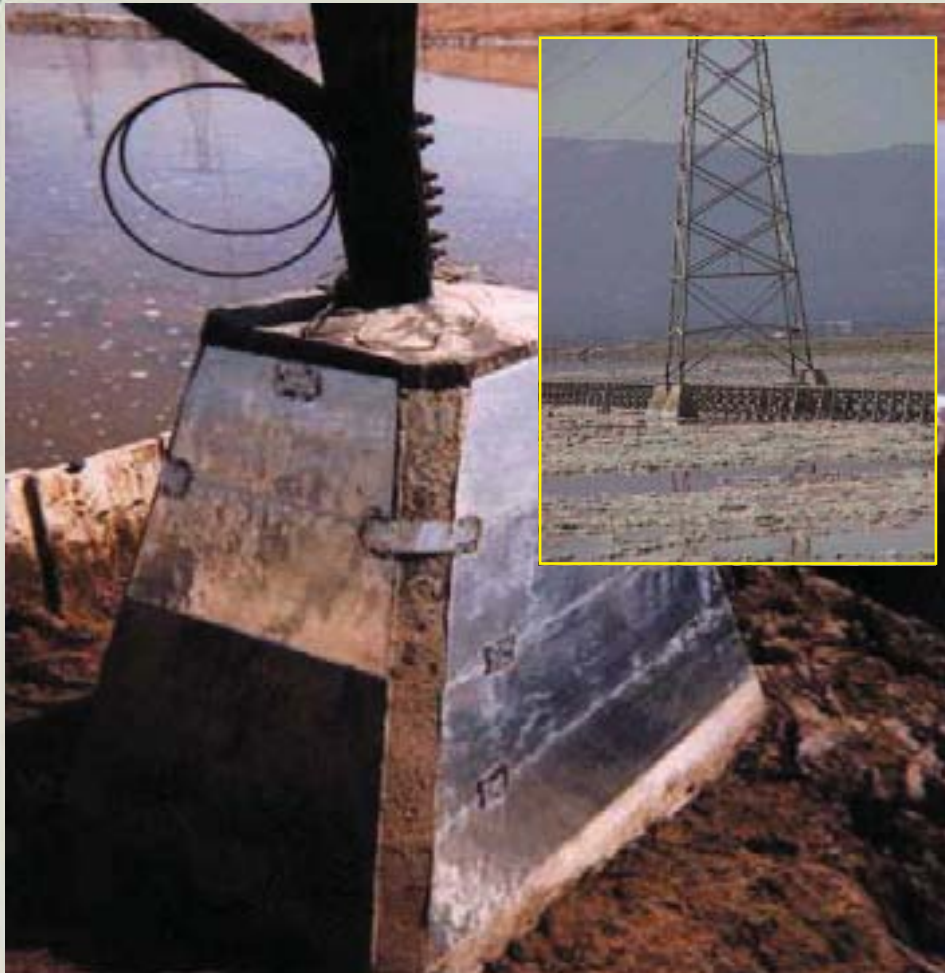
**Observação:** A norma NACE RPO 0290-90 indica que há proteção eficiente quando há uma diferença mínima de -100mV com o sistema desligado.



Devido a infiltrações pelas juntas de dilatação, ocorreram sérios processos de corrosão nas extremidades das longarinas...



... que foram tratadas com MAZ.



Bases de torres de alimentação com aplicação de MAZ.

### Protegendo a MAZ

A MAZ, nas regiões expostas ao tempo, deverá ser pintada com uma tinta especial, a XL-70 Bridgecote FT ou a Elastotex, de modo a protegê-la contra a ação do tempo.

### Energisando a MAZ

Dever-se-á fazer um teste da ligação para assegurar que as armaduras estão adequadamente protegidas pelo envio de corrente elétrica da MAZ para as armaduras, mudando-se, desta forma, a condição eletroquímica

do aço que passa a ficar no estado de catodicamente protegido. A medição dos potenciais das armaduras é feita com o uso dos eletrodos de referência, previamente instalados, utilizando-se um simples multímetro digital. O critério para se atestar se há corrente adequada deverá ser obtendo-se valores da depolarização de pelo menos  $-100\text{mV}$  após o desligamento da MAZ na caixa de controle.



### Fax consulta nº 456

Para ter mais informações sobre Corrosão.

Click aqui:

<http://www.recuperar.com.br>

### REFERÊNCIAS

- Carlos Carvalho Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Concrete Restoration Association.
- Bennett, J.E. and Schue, T.J. "Galvanic Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge members Using Sacrificial Anodes Attached by Conductive Adhesives". U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration Report. Publication No. FHWA-RD-96-073.
- Kessler, R.J., Powers, R.G. and Lasa, I.R. "Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes And An Ion Conductive Gel Adhesive". Presented at NACE Corrosion 97 in New Orleans.
- Kessler, R.J. Powers, R.G. and Lasa, I.R. "Zinc Sheet Anodes with Conductive Adhesive for Cathodic Protection". Materials Performance.
- Hartman, R.B. and Wehling, J.E. "A Galvanic Zinc-Hydrogel System For Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures". Presented at International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures in Orlando.

## ELASTO-THANE

### ELASTÔMERO (SELANTE) DE POLIURETANO

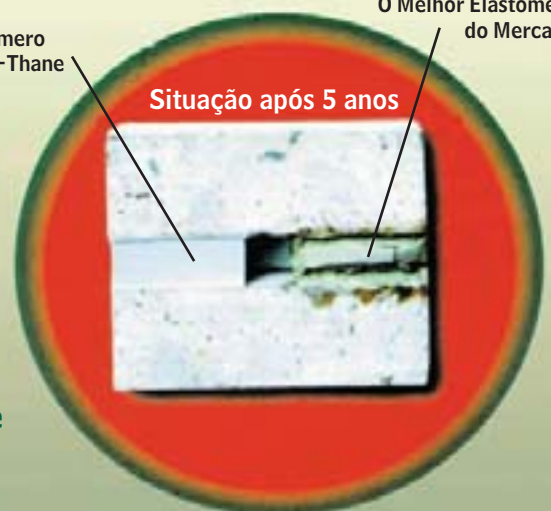
**R\$ 8,20**  
**O CARTUCHO**

O selante elastomérico de poliuretano ELASTO-THANE é o mais vendido no mercado norte americano. Saiba a razão desta preferência. Peça o melhor elastômero de poliuretano pelo melhor preço do mercado. Disponível nas cores bronze, calcáreo, cinza e branco.

Elastômero  
Elasto-Thane

O Melhor Elastômero  
do Mercado

Situação após 5 anos



Fax consulta nº 279