

# Corrosão em Pontes e Viadutos

Saiba sobre o círculo vicioso dos caros serviços de recuperação que só tratam os efeitos. A interrupção da corrosão e o seu monitoramento é a melhor solução.

**Joaquim Rodrigues**



O aço do concreto armado e protendido é bem protegido contra a corrosão, uma vez respeitados certos critérios de execução. No entanto, se for comprometido o ambiente (concreto) no qual está inserido, basicamente através do abaixamento do PH e da penetração, principalmente, de íons cloretos (ar marinho e chuva ácida), inicia-se um processo de corrosão que, dependendo do tratamento imposto, não mais será interrompido, condenando a estrutura e o proprietário a um círculo vicioso de gastos crescentes. Já que falamos em gastos, só nos EUA gastava-se anualmente 21 bilhões de dólares com a corrosão em pontes e viadutos. Valor que, de cinco anos para cá começa a descer em função do monitoramento do estado de corrosão. O controle do estado de corrosão limita, sensivelmente, a ordem de gastos.

Quando a corrosão é visível através do levantamento da perda de seção das armaduras é possível "monitorar" a estrutura executando serviços de recuperação e reforço estrutural, restabelecendo a redução do coeficiente de segurança afetado. Estes serviços, se fomos analisar o período pós-execução, a partir dos três anos já começou a apresentar pequenos sintomas de deslocamentos que torna-se-ão mais intensos com o passar dos anos. A quem interessa esta estratégia de tratamento? Por que esperar tanto?

O controle da corrosão beneficia diretamente a manutenção da integridade física da estrutura, garante a máxima segurança operacional, evitando paradas bruscas ou não programadas, particularmente devido a acidentes, além de evitar a queda de produção do negócio, no caso das pontes privatizadas, usinas, barragens, etc.

O elevado do Joá, no Rio de Janeiro, é um caso típico da estratégia do "esperar para ver" que, invariavelmente, incorre em elevados gastos para o Estado, insegurança para os veículos, com a possibilidade de acidentes e/ou paralizações na rotina do tráfego. Depois de "esperar para ver" define-se um plano de recuperação apenas baseado nas situações terminais ou, propriamente, nos efeitos. A causa (corrosão) continua, interiorizando o processo de ruína.



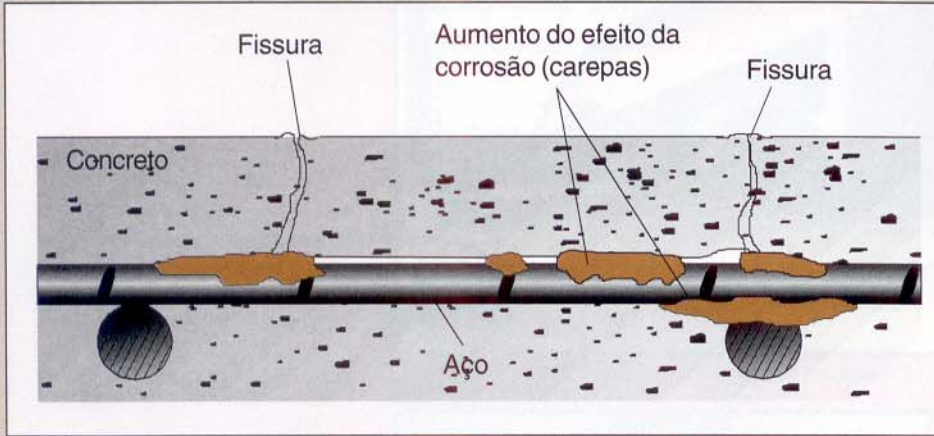
*continua na pág. 6*

## Os Tipos de Corrosão

Na prática, ocorrem dois tipos de corrosão no aço de estruturas de concreto armado e protendido. Eles podem, facilmente, ser monitorados usando um eletrodo de outro me-

tal, mesmo nas situações onde o processo de corrosão é ainda incipiente. Desta forma o processo de corrosão é facilmente acompanhado pelo engenheiro ou técnico de manutenção da própria ponte, indústria ou edificação.

### Corrosão Geral (Galvânica) (Concreto Armado)



A corrosão no concreto armado é também conhecida como corrosão com concentração de células e ocorre quando as barras que compõem as armaduras ficam expostas a diferenças de potenciais (DDPs) ao

longo de seus comprimentos, frequentemente provocadas por diferenças ou desequilíbrios químicos em torno das armaduras (por exemplo diferenças de PH, oxigênio, umidade...).

### Corrosão Sob Tensão Fraturante (Concreto Protendido)



Como vimos, para que se desenvolva corrosão no concreto armado é necessário haver umidade, oxigênio e a destruição da camada passivante. No concreto protendido, um tipo perigosíssimo de corrosão denominado "corrosão sob tensão fraturante" não necessita da presença de oxigênio. No entanto, a preocupação principal é saber se os cabos, dentro das bainhas, ficam no estado obrigatório de permanentemente secos. Pesquisas efetuadas em estruturas protendidas com ca-

bos partidos mostram, na região do rompimento, pontas aguçadas com perda de volume. O hidrogênio formado pela reação da corrosão é reabsorvido ao longo da seção do aço, penetrando nos fios das cordoalhas, provocando um estado de fragilidade em sua seção, estabelecendo planos de fraqueza. Uma vez constatado qualquer presença ou sintoma de corrosão ao longo dos cabos, torna-se necessária uma avaliação do aço com equipamentos metalúrgicos.

## Monitorar é a Solução

Todos os sistemas de monitoramento da corrosão, "permanentes" ou "semi-permanentes", para estruturas de concreto armado ou protendido oferecidos no mercado mundial são baseados no princípio da dissimilaridade (diferenças) entre dois metais, num ambiente de um eletrólito (concreto), originando-se uma corrente elétrica de natureza contínua (cc). A maioria, senão todos os sistemas oferecidos no mercado, usa o cobre ou ligas pertinentes a este metal como eletrodo, sendo que o outro metal é o aço. De alguns anos para cá tem-se utilizado também uma solução de sulfato de cobre como eletrólito para formar a "célula" de cc.

Portanto, basicamente, todas as companhias que oferecem equipamentos para determinar se há existência de corrosão abaixo da superfície do concreto, usam eletrodos de sulfato de cobre (ESC). Esta técnica é bastante utilizada, já que é relativamente barata, bastando inserir o ESC no concreto, ao longo da peça estrutural, conectando-o com as armaduras ou cabos e, periodicamente, proceder-se à checagem com um simples voltímetro para ver se há corrosão ativa.

É eficiente, sem dúvida alguma, evidenciando, no entanto, apenas a presença de corrosão na primeira camada de armaduras, imediatamente abaixo da superfície. O ESC, especificamente, não consegue "visualizar" a presença de sintomas de corrosão nas camadas mais profundas das armaduras. O ESC, na forma de solução, também não oferece a durabilidade necessária para o que se propõe pois seca e, naturalmente, para de funcionar. Este tipo de eletrodo também não consegue monitorar a presença de corrosão nas cor-

*continua na pág. 10*

**EPT** ENGENHARIA  
E PESQUISAS  
TECNOLOGICAS S.A.

Estudos e Projetos de Pavimentos  
Controle de Compactação de Aterros  
Controle Tecnológico de Concreto e Aço  
Sondagem à percussão e Rotativas  
Provas de carga em solos, estacas e estruturas  
Supervisão e Gerenciamento de Obras  
Injeções de caldas e resinas  
Drenos horizontais  
Micro Estacas - Estacas Raiz  
Impermeabilização  
Recuperação de Estruturas  
Tirantes - Cortinas atirantadas  
Reforço Estrutural com Fibras de Carbono

Matriz São Paulo - Rua Catão, 523 - Fone PABX (011) 873-3399  
Filial Porto Alegre - Rua Marcelo Gama, 41 - Fone (051) 342-7166

# Rio de Janeiro Situação do Elevado do Joá

Abril/1999



Trincas e grandes deslocamentos provocados por altos níveis de corrosão, certamente existentes na recuperação anterior.



Infiltrações nas juntas superiores.



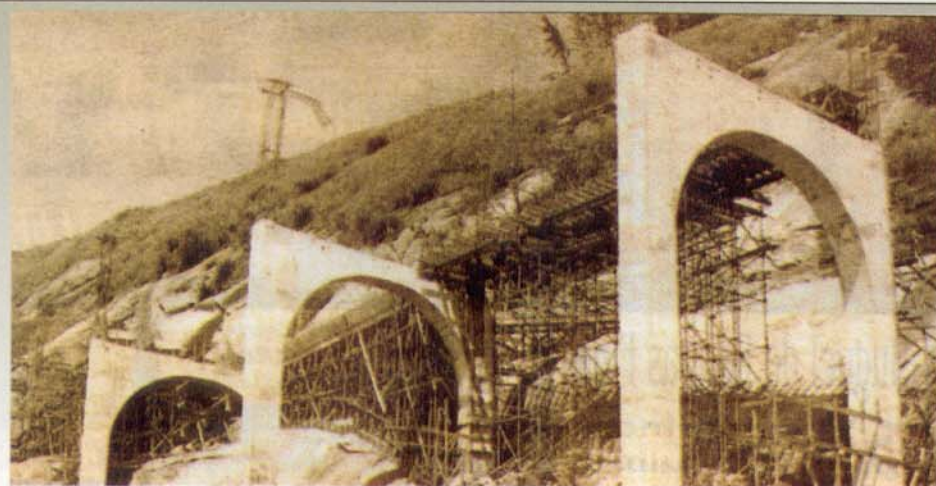
Indícios de corrosão no sistema de ancoragem dos cabos de protensão.



Infiltrações nas juntas inferiores.



Sérios problemas de corrosão ao longo dos pilares que, certamente não serão tratados de forma eficiente, mais uma vez. Queremos dizer que, novamente serão feitos serviços de "recuperação" sem análise prévia dos sintomas e, efetivamente, permitindo-se que o processo de corrosão se aprofunde cada vez mais, tornando a estrutura cada vez mais "doente".

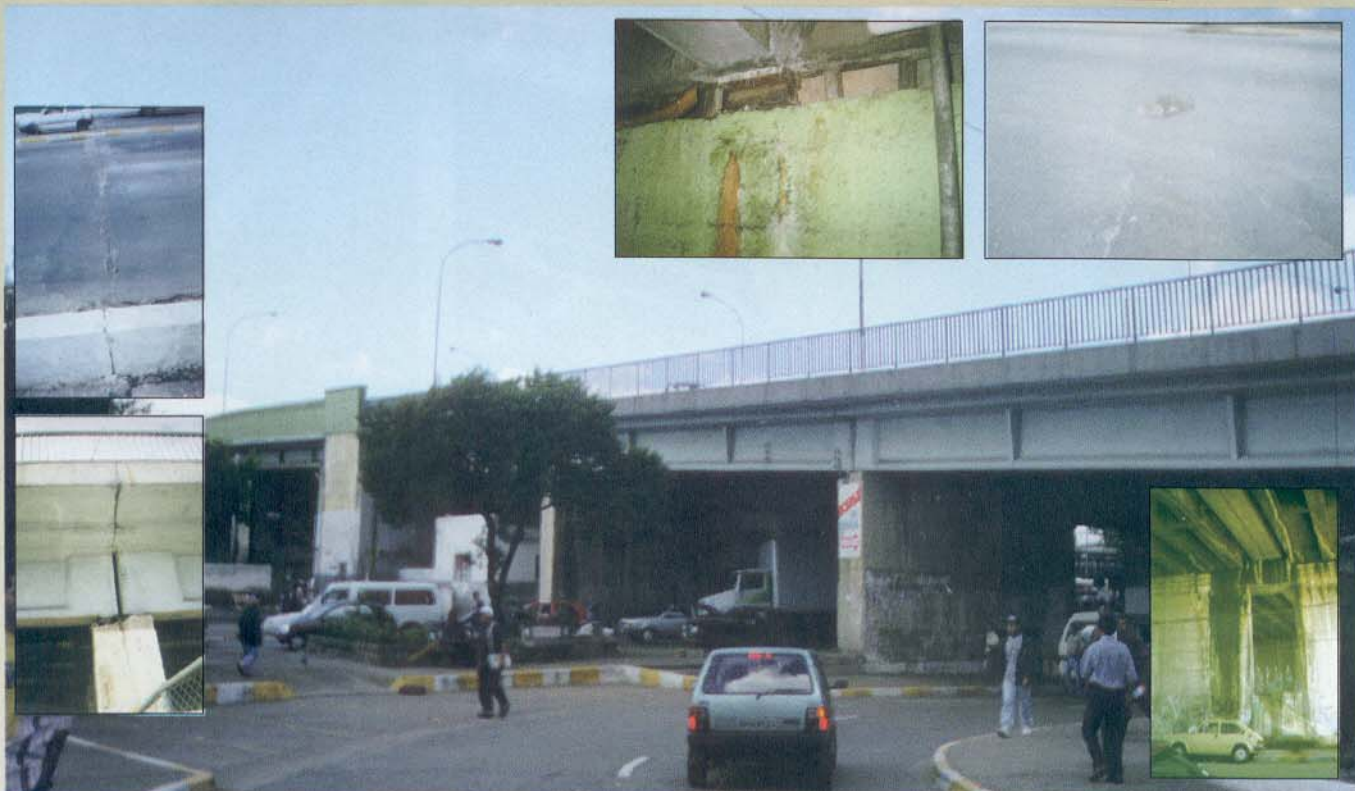


Início dos anos 70

No início dos anos 70, a construção. Cerca de quinze anos após recebeu sérios serviços de reforço. Quase 30 anos depois, a situação do elevado já apresenta graves sinais de corrosão. Veja acima.

# São Paulo Situação de Alguns Viadutos

Abril/1999



No viaduto Com. Elias Nagib Breim, no bairro da Lapa (Mercado), há fortes infiltrações através das juntas (com presença de óxido de ferro), comprometendo as zonas de apoio das vigas e travessas e os próprios pilares (topo), por processos de corrosão invisíveis. Há necessidade, previamente, de investigação do processo de corrosão atuante. Inexistem as juntas de dilatação. Há sinais de cedência.



Na ponte Eusébio Matoso, no bairro de Pinheiros (Shopping Eldorado), alguns cabos de protensão rompidos, já soltaram no fundo da viga periférica. Os impactos que ocorreram nas vigas periféricas já dariam motivo a investigações por processos não destrutivos. Na foto da direita, aparentemente, há o comprometimento do sistema de apoio das vigas/tabuleiros.

# Recife

## Situação de Algumas Pontes e Viadutos

Abril/1999



Viaduto João Paulo II, no bairro Paissandu, apresenta problemas seríssimos de corrosão nas armaduras, além de fissuras transversais no tabuleiro (1 e 4), agravados pelo fogo que consumiu os barracos existentes. Fortes infiltrações pelas juntas desenvolvem sérios processos de corrosão nas duas zonas de apoio dos tabuleiros e no topo dos pilares (2 e 3). Na foto 5, a ausência da junta de dilatação faz acessar a água que alimenta o processo de corrosão. Nas manchas existentes, já há presença de óxidos de corrosão.



No viaduto da Torre, situado no bairro do mesmo nome, fissuras no topo dos pilares, agravadas pelas infiltrações nas juntas, comprometem o futuro da obra de arte.



No viaduto das Cinco Pontas, no bairro São José, as infiltrações, através do tabuleiro, promovem a indefinição da estabilidade, em razão do desconhecimento do grau de contaminação e dos possíveis potenciais de corrosão existentes.



Ponte Buarque de Macedo. As recuperações efetuadas inibem mas não interrompem o processo de corrosão que, cada vez mais interioriza, tornando-a suspeita. Infiltrações aceleram o processo.

doalhas dentro dos cabos de protensão e, como sabemos, sofre também dos mesmos efeitos de corrosão viabilizado pelo mesmo eletrólito pelo qual o aço corrói. A presença de corrosão no cobre interfere e confunde as leituras que são realizadas para se determinar a corrosão do aço.

### Um Novo Metal

O sistema de monitoramento fixo que utiliza o ESC, pelos motivos acima citados, já não é a última palavra para esta tecnologia na manutenção de obras de arte e de todas as estruturas de concreto armado. A



O eletrodo de monitoramento. Trata-se de um cabo de prata-cloreto de prata com  $\pm 5$ mm de diâmetro.

prata, um material nobre que não corrói, é considerada hoje o melhor metal para estes serviços, já que oferece o melhor sinal elétrico em relação ao aço e a durabilidade desejada.

### Suas Propriedades

Além das propriedades já conhecidas pertinentes à utilização do ESC, somar-se-ão novas características próprias dos eletrodos à base de prata, que são as seguintes:

- Medindo-se a voltagem da cc, poder-se-á determinar se há corrosão ativa, mesmo para pequenos pontos (pites) tão pequenos quanto 1mm de diâmetro.
- Caso haja mudanças no ambiente que provoquem a diminuição ou mesmo a interrupção do processo ativo de corrosão (por exemplo, um processo de secagem do concreto), o eletrodo de prata sinalizará esta situação, informando quando a corrosão iniciou, sua continuidade e sua interrupção.
- Se a instalação deste eletrodo, em cada peça estrutural da estrutura, informar que há corrosão ativa nas armaduras ou cabos de protensão, apenas pela checagem do nível da corrente contínua atuante será possível analisar o quão é severa a corrosão, já que a corrente medida é diretamente proporcional à perda de seção (massa) do aço.
- Uma vez a corrente informando que a corrosão é muito ativa, isto através de um osciloscópio, poder-se-á determinar de-



Eletrodo sendo cortado em pequenos comprimentos.



Eletrodo instalado nas armaduras do tabuleiro.



Eletrodo instalado nas travessas da ponte, solidário à armadura



Tabuleiros, travessas e pilares da ponte "Confederação", no Canadá, foram concretadas com eletrodo de prata de modo a se proceder o monitoramento de possíveis processos de corrosão.

talhes da corrente e, com isso, verificar se há presença dos perigosos pites de corrosão em armaduras ou em cordoalhas de protensão, através da moderna técnica do "ruído eletroquímico".

- Se ficar constatado que há corrosão ativa significativa, com perda de seção considerável em determinadas regiões, poder-se-á saber a verdadeira profundidade da barra ou do cabo afetado em relação à superfície, determinando-se se há mais de uma região com danos.

Todas as características adicionais deste verdadeiro espião tornam o novo equipamento indispensável em toda e qualquer obra de arte, considerando que, somente com estas informações poder-se-á identificar os locais problemáticos, de forma significativa, tornando os serviços de recuperação relativamente baratos. Todos sabemos que, em qualquer área, os serviços de manutenção preventiva tornam relativamente insignificantes os serviços de recuperação. O eletrodo de prata e seus componentes analisam a camada de recobrimento do concreto em incrementos de 1mm na sua profundidade, informando ao proprietário da obra como está se desenvolvendo um possível processo de corrosão e, naturalmente, como dever-se-á fazer uma proteção superficial, no intuito de quebrar este processo, antes que, efetivamente, ela ocorra. Por extensão, caso se promova a aplicação de uma proteção superficial com silano ou com epóxi flexível, o sistema informará se,

naquela mesma profundidade onde foi constatado o comprometimento houve interrupção daquele processo e, automaticamente, se a proteção está surtindo efeito.

No caso mais trivial de uma ponte, basicamente, com um sistema deste instalado em

**BETONTEC**  
TECNOLOGIA E ENGENHARIA

- Controle Tecnológico de Materiais
- Recuperação e Reforço Estrutural
- Tratamento de Concreto Aparente
- Restauração de Fachadas
- Impermeabilização

**Tel: (011) 276-5677**

**Fax: (011) 5589-4708**

**e-mail: betontec@uol.com.br**

AV. DOS BANDEIRANTES, 5287 - CEP. 04071-011 - SÃO PAULO

cada uma das vigas caixão, obter-se-á informações suficientes para que se promova raríssimos serviços de manutenção, em razão dos dados fornecidos.

### Instalando o Sistema de Monitoramento

O sistema de monitoramento da corrosão é apresenta três componentes básicos, além de um voltímetro padrão que possibilitará a avaliação. Pode ser instalado, preferencialmente, durante a execução da obra ou, posteriormente, com a obra já executada. São eles:

- a) Eletrodo interligado à armadura ou bainha (fixado a uma das armaduras, antes da concretagem ou, no caso de obras antigas, embutido na peça estrutural, através da abertura de um sulco com uma serra tipo makita).
- b) Conexões que interligam o eletrodo à caixa de comando.
- c) Caixa de comando, contendo os módulos que coletam e interpretam dados.
- d) Equipamento de avaliação composto por um voltímetro comum.

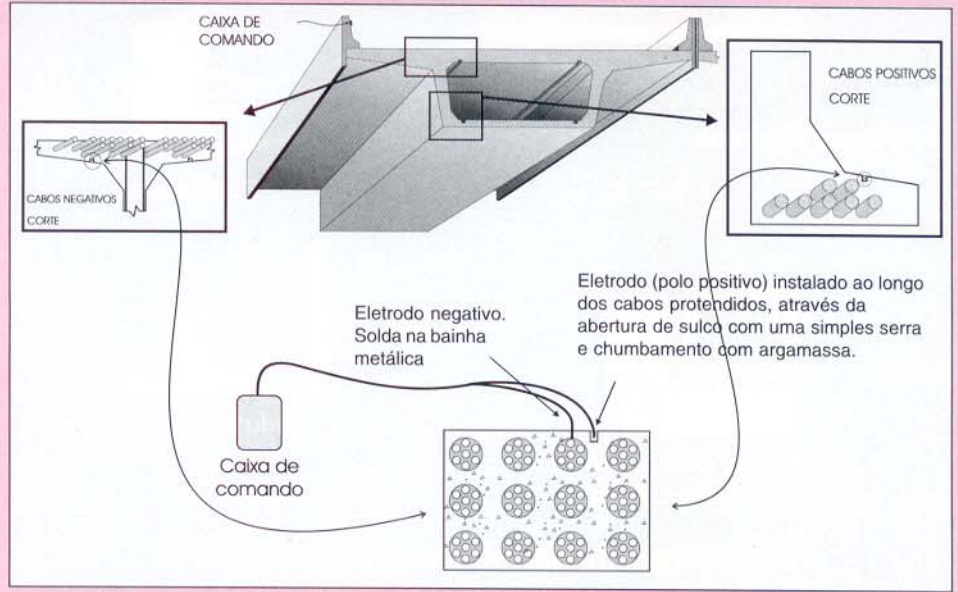
O eletrodo é instalado ao longo das armaduras longitudinais ou dos cabos de protensão. A caixa de comando é instalada ao longo do guarda-corpo, estabelecendo-se uma unidade de comando para dois vãos. O sistema de monitoramento informa a presença de voltagens (em milivolts) de corrosão na estrutura, função do processo de corrosão existente ou que poderá a vir existir, no caso de obras novas, motivado por processos de contaminação. Os valores comparativos são os seguintes:

- Se acima de 400mV, existirá processo de corrosão.
- Se abaixo de 350mV, não haverá qualquer presença de corrosão.

Logo, apenas com estas informações poder-se-á determinar quando a corrosão iniciou, seu desenvolvimento e quando é interrompida por ativação de qualquer processo. Desta forma, portanto, ter-se-á o controle efetivo da situação das armaduras ou dos cabos de protensão de cada peça estrutural. Uma vez constatada a presença de corrosão em qualquer armadura longitudinal ou cabo de protensão, poder-se-á checar a corrente elétrica em micro ampères ( $\mu A$ ) que está provocando o processo de destruição do aço. Dependendo do valor medido, poder-se-á ter as seguintes situações:

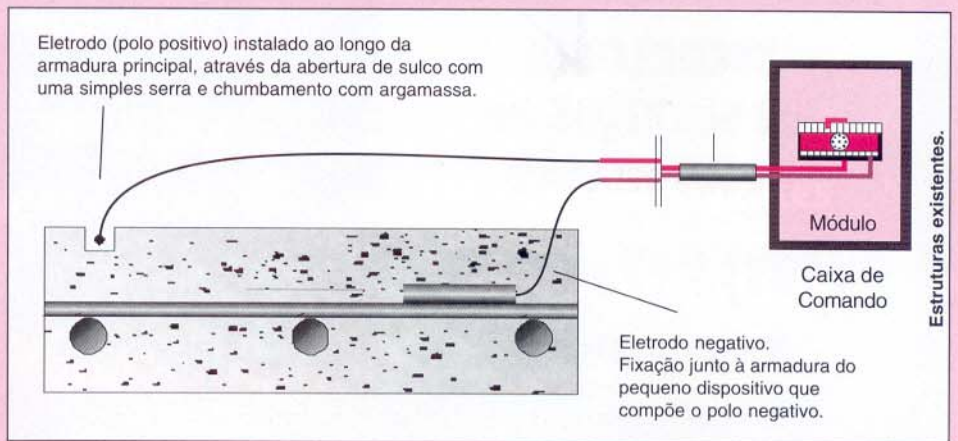
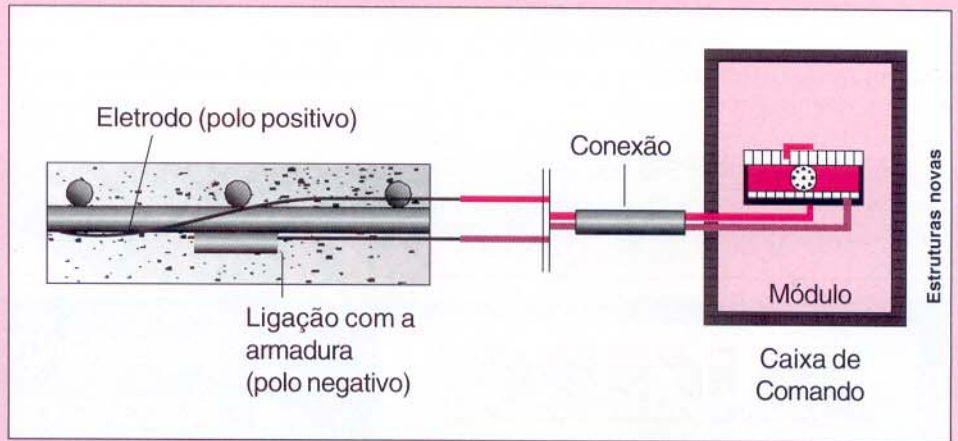
- Se menor que 1000 $\mu A$ , o estado de corrosão é muito fraco.

### O Monitoramento em Estruturas de Concreto Protendido



- A partir de 1000 $\mu A$  a corrosão começa a ser significativa.
- A corrente é diretamente proporcional à taxa de corrosão ou, mais precisamente, à quantidade de perda de seção do aço. Desta forma, a taxa da perda de seção será precisamente feita pelas medições subseqüentes da corrente elétrica que está gerando a corrosão. Pela experiência adquirida através de tabelas normatizadas, há constantes que relacionam a corrente com a taxa de perda de

### O Monitoramento em Estruturas de concreto armado



Se você tiver alguma questão acerca desta matéria, por favor envie-nos seu fax consulta, não esquecendo de citar, especificamente, o que deseja discutir.

### REFERÊNCIAS

- **Joaquim Rodrigues** é Engº Civil, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologia da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor técnico de diversas empresas.
- Australian Standard AS 2312, Guide to the Protection of Iron and Steel against Exterior Atmospheric Corrosion.
- C.R. Sothwell, et al., "Corrosion of Metals in Tropical Environments-Final Report of 16-Year Exposures" Materials Performance.

**Pontes e Viadutos**

**Edificações**

**Indústrias**

**Análise por computador, no próprio escritório.**

**Estratégia de Monitoramento Remoto**

O monitoramento da corrosão pode ser feito em qualquer tipo de estrutura.

seção do aço. Uma vez definida a perda de seção do aço, poder-se-á:

- Estimar a perda de resistência existente.
- Estimar a seção necessária a ser reforçada ou, propriamente, a quantidade de armaduras ou cordoalhas comprometidas.

A análise da corrente elétrica com um osciloscópio de alta resolução informará se houver descontinuidades (picos), que a corrosão ao longo das armaduras ou cordoalhas apresenta-se sob a forma de pites (localizada).

Uma vez determinada a quantidade de perda de seção, utilizando-se este mesmo osciloscópio e um gerador de pulsos de curta duração, poder-se-á determinar:

- Onde estão, de forma precisa, os pontos ou regiões que apresentam estado de corrosão.
  - Qual a profundidade, em relação à armadura ou cordoalha, atingida pelo processo de corrosão.
  - Se, em cabos protendidos, há presença de vazios provocados pelo mal preenchimento da bainha e onde estão localizados.
- Como se vê, uma vez instalado o sistema de monitoramento, poder-se-á saber tudo a respeito da situação das armaduras e cordoalhas da estrutura, com detalhes de interesse para futuros serviços de recuperação/reforço.

**Técnicas e produtos de recuperação do mundo inteiro você encontra aqui.**

Assine  
**RECUPERAR**  
(021) 493-4702

**ILICERCE**

**TECNOLOGIA EM SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO**

**(081) 9973-8955**

**FAX (081) 231-7347**

- ISOLAMENTO TÉRMICO
- INJEÇÃO DE POLIURETANO E EPÓXI
- ENDURECIMENTO QUÍMICO DE PISOS
- RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS (Utilizamos Fibrocarbone)
- IMPERMEABILIZAÇÃO
- JUNTAS DE DILATAÇÃO
- PISOS INDUSTRIAIS, EPÓXI

**ATUAMOS EM TODO O NORDESTE**



## A Fúria Indomada do Movimento Térmico

Vidros, alumínio ou laminados plásticos. Precisamos entender estes novos materiais para revestimentos de fachadas de edificações, pois apresentam grande movimentação térmica.

**Carlos Carvalho Rocha**

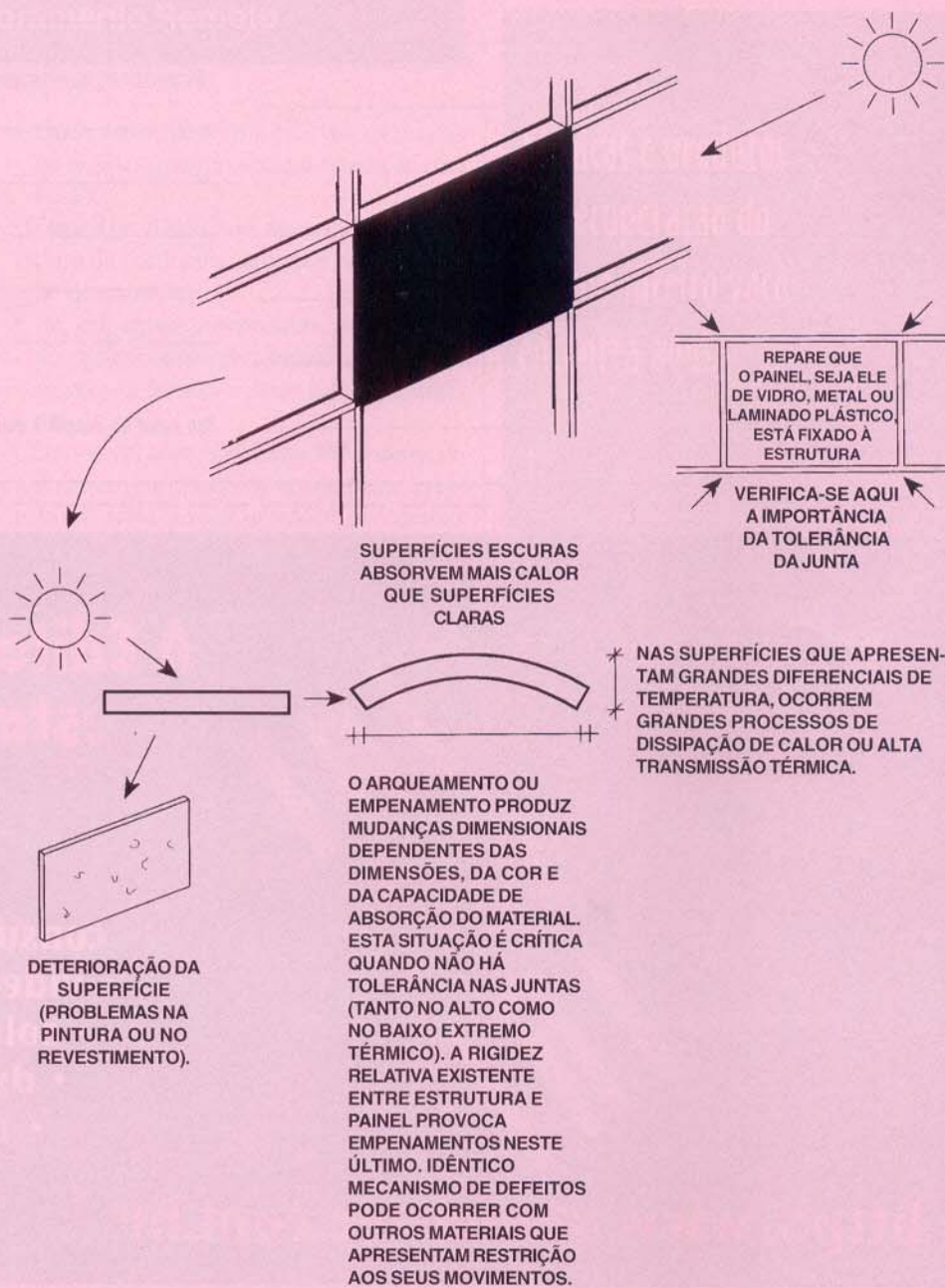


Todos os materiais de uma edificação experimentam movimentos em função de seus coeficientes térmicos que variam de forma reversível. O fenômeno do movi-

mento térmico, pouco compreendido entre engenheiros e arquitetos, acontece devido às mudanças climáticas, bastante atuantes entre nós, onde é possível haver grandes ganhos e perdas térmicas, com extrema frequência e rapidez. Estas rápidas e freqüentes mudanças que ocorrem na temperatura, normalmente criam tensões problemáticas na edificação, principalmente em suas instalações externas ou nas juntas entre materiais com insuficiente tolerância de movimentos.

Um determinado componente ou elemento de uma edificação, exposto ao tempo, poderá apresentar um grande número de fatores que afetam a sua quantidade de movimento, provocando enormes gradientes térmicos. Isto, de forma típica, provocado pela exposição solar que acarreta grande ganho térmico ao mesmo tempo em que, com a surgência da chuva, acarreta uma perda quase que instantânea de calor, provocando a surgência de gradientes térmicos superiores a 80°C.

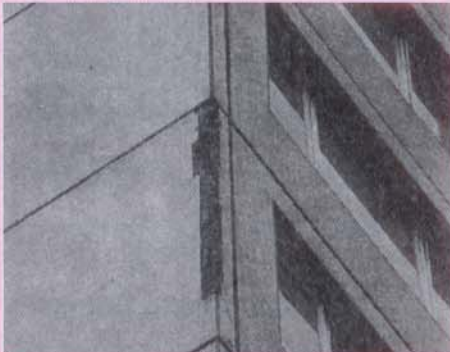
Os mecanismos de ruína ou da ocorrência de problemas nos materiais de construção dependem da velocidade com que se promove esta mudança, estritamente associada aos movimentos diferenciais existentes. Por exemplo, superfícies escuras, que apresentam grandes ganhos de calor proporcionalmente àquelas com pouca cor, sofrem grandes movimentos térmicos. Durante os freqüentes períodos de insolação, com o



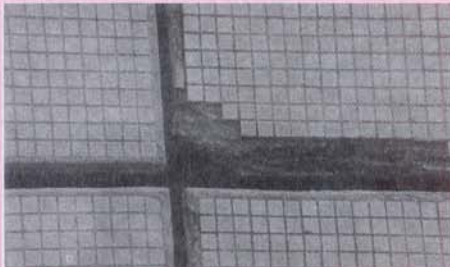
contato direto do sol, os materiais de construção de superfícies escuras podem alcançar até 140°C que, comparando-se com a média de temperaturas, já altas, de 70 ou 80°C freqüentes nos materiais com cores mais claras, associam grande movimentação térmica.

Dentro deste contexto, quente por sinal, as dimensões de cada material ou componente da edificação terá importante influência no processo físico total de expansão/contração que necessita ser acomodado. Daí a necessidade dos materiais com grandes vastas necessitem de grandes tolerâncias ao desenvolvimento de seus movimentos.

*continua na pág. 16*

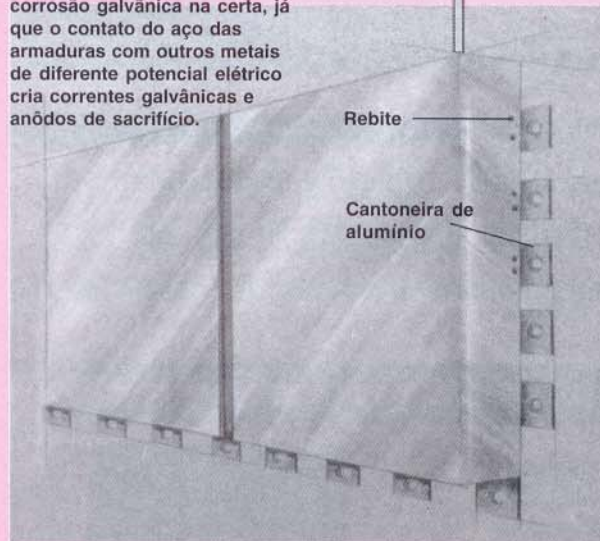


Desplacamento na quina da fachada...



... e nas bordas da cerâmica, adjacente às juntas devido à movimentação térmica.

Revestimentos ou painéis metálicos são regiões de alta transmissão térmica. Com estes materiais criam-se "pontes frias" atuantes em torno do painel. Esta situação, por sua vez, aumenta a incidência de condensação na região da fixação, para ali drenando a água. A dissimilaridade entre aço e alumínio deverá ser evitada, isolando-se o chumbador com epóxi, de modo a não permitir o contato com o aço das armaduras. De outra forma é corrosão galvânica na certa, já que o contato do aço das armaduras com outros metais de diferente potencial elétrico cria correntes galvânicas e ânodos de sacrifício.



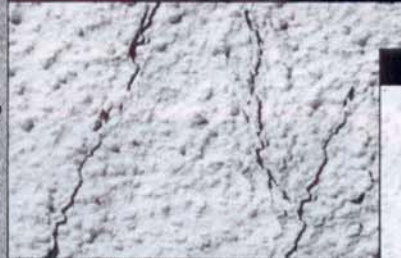
Esquema de fixação bastante comum nas fachadas de edificações com revestimento de alumínio.

## VOCÊ TEM ISTO EM SUA FACHADA? A SOLUÇÃO É

# ELASTO-TEX

Elasto-tex é uma tinta elastomérica, made in USA, que não promove emendas. É totalmente impermeável para uso em fachadas de edificações, particularmente as com histórico de infiltrações. Tinta acrílica elastomérica à base d'água, isenta de plastificantes (material adicionado à tinta para torná-la mais flexível) e modificada quimicamente, de modo a ter qualidades verdadeiramente elastoméricas.

ANTES



DEPOIS



ESTICA 600% E NÃO PERDE  
ESTA CARACTERÍSTICA

Fax Consulta nº 291

Diante deste caótico e quase imperceptível quadro desponta o importante papel da capacidade térmica do material ou do componente empregado na fachada da edificação. Já nesta altura, poder-se-á diagnosticar que materiais ou componentes bem isolados, com juntas e elastômeros adequados, irão agüentar sozinhos o calor superficial absorvido, podendo sofrer, sem inconvenientes às regiões adjacentes, grandes extremos de temperatura. A presença de isolamentos térmicos, por exemplo a espuma de poliuretano aplicada com spray em reservatórios e telhados, praticamente elimina este problema.

### Novas Formas e Novos Materiais

Paramentos complexos ou propriamente os novos materiais que compõem ou que fazem o fechamento das fachadas de edificações modernas, "leves" e arrojadas, formadas de painéis metálicos, vidro e/ou de laminados plásticos podem, na verdade, ser a combinação de uma estrutura rígida, com materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica, suportando painéis escuros com enorme absorção térmica. E aí? Será necessário ter muito cuidado na elaboração de projetos desta ordem, estabelecendo-se adequadas tolerâncias para as juntas (ver RECUPERAR nº 7), suficientes para dar acomodação à potencialidade dos movimentos relativos, durante os extremos higrótérmicos que ocorrem em nosso clima.

A capacidade térmica de um material aumenta proporcionalmente à sua densidade. Em contraste, pode-se dizer que a resistência térmica varia na razão inversa de sua densidade, dependendo do isolamento, principalmente pelo ar confinado.

A região da estrutura onde materiais rígidos e flexíveis ficam em contato é particularmente vulnerável à ocorrência de problemas de movimentações térmica. Embora materiais com diferentes módulos de elasticidade possam exibir um mesmo grau de movimentação física, as tensões existentes em cada um deles, particularmente nas regiões onde há restrição de movimentos, irão diferir, de acordo com seus respectivos módulos. O material mais fraco apresentará sintomas de movimentação térmica, certamente provocado pelas tensões desenvolvidas no material mais rígido.

### Sintomas de Movimentação

Os sintomas de movimentação térmica incluem o empenamento, emperramento, ocor-

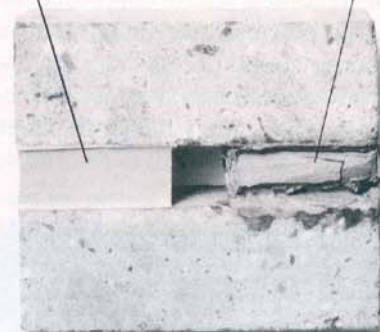
rência de trincas e deslocamentos que, usualmente, ocorrem nos lados, pontos ou regiões onde há restrição, como nas ligações ou conexões à estrutura ou nas juntas entre materiais. Nas regiões onde não há qualquer restrição à movimentação dos materiais ou quando há apenas pouquíssima restrição, o movimento, naturalmente, não será prejudicial. Do momento em que o movimento de expansão não necessite de um mesmo grau de ligação, como o que ocorre na contração, os materiais tenderão a não retornar às suas posições originais. Desta forma, os movimentos cíclicos térmicos poderão originar deslocamentos permanentes, sem qualquer dificuldade.

Há situações em que o movimento térmico é compensado com a movimentação provocada pela variação da umidade. De uma forma mais extrema, o que é comum acontecer quando duas formas de movimento ocorrem em conjunto, os danos são bem significativos.

## ELASTÔMERO ELASTO-THANE

Elastômero Elasto-Thane

O Melhor Elastômero do Mercado



Com o elastômero de poliuretano Elasto-thane, você calafeta todo tipo de junta de dilatação.

O elasto-thane é vendido a R\$ 6,80 o cartucho, com 12 cores à sua disposição.

**R\$ 6,80**  
**o cartucho**

Fax consulta nº 279



Você enche a pistola e calafeta. Simples e rentável.

#### Fax consulta nº 338

Se você tiver alguma questão acerca desta matéria, por favor envie-nos seu fax consulta, não esquecendo de citar, especificamente, o que deseja discutir.

#### REFERÊNCIAS

- Carlos Carvalho Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Australian Standard AS 2312, Guide to the Protection of Iron and Steel against Exterior Atmospheric Corrosion.
- C.R. Sothwell, et al., "Corrosion of Metals in Tropical Environments-Final Report of 16-Year Exposures" Materials Performance.

### CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

## ALPHAGEOS

GEOLOGIA  
GEOTECNIA E  
COMÉRCIO LTDA.

(011) 7295-6699

Serviço de Atendimento ao Cliente 0800 156 800

Rua João Pereira da Carneiro, 44 - Tombador - Sorocaba - SP - CEP 06450-000 - FAX (011) 7295-1056

Na RECUPERAR Você encontra uma verdadeira assessoria técnica ao seu problema, em sua construção

Assine

**RECUPERAR**  
(021) 493-4702

# Como "Ver" a Corrosão em Pontes e Viadutos

Saiba os procedimentos para detectar a maior doença que afeta nossas pontes e viadutos.

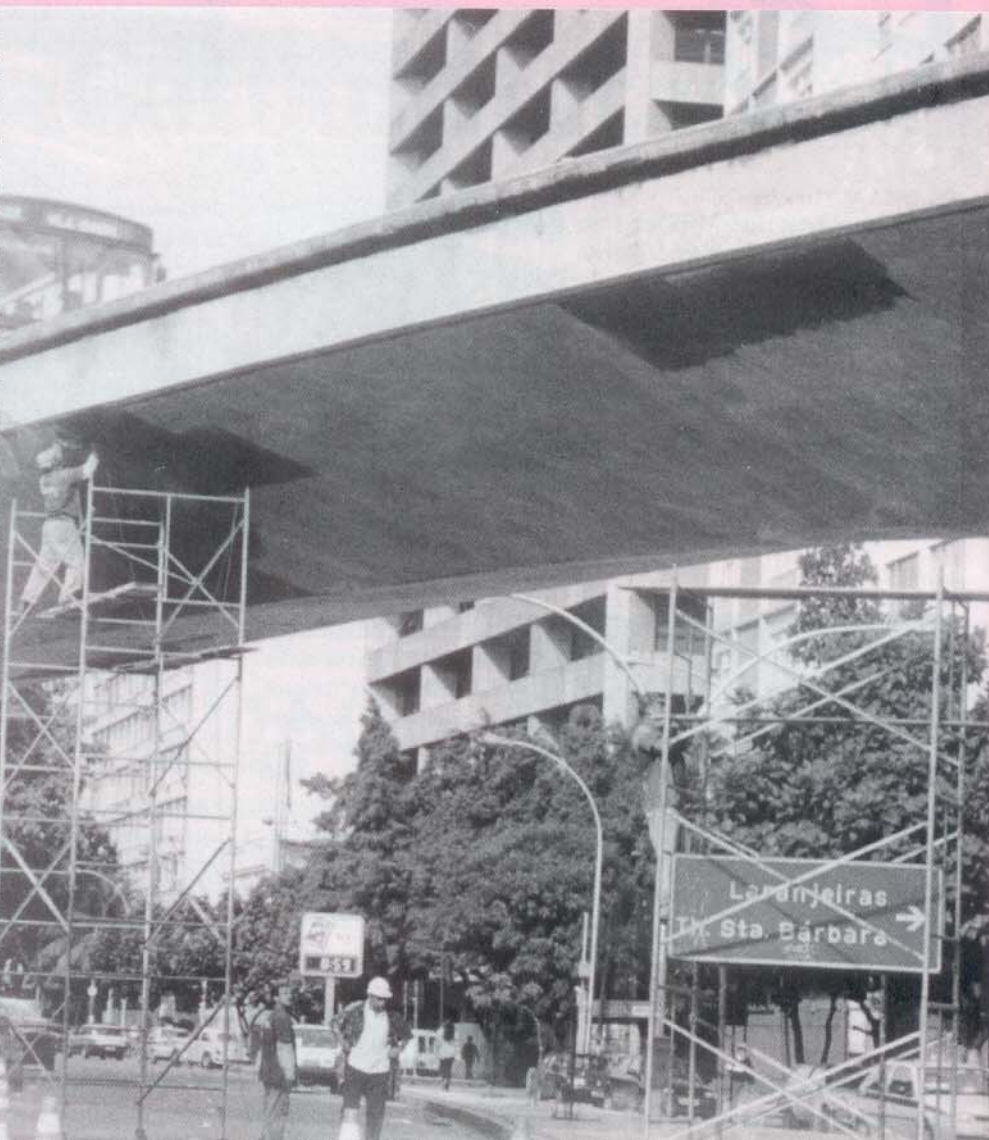
Carlos Alberto Monge



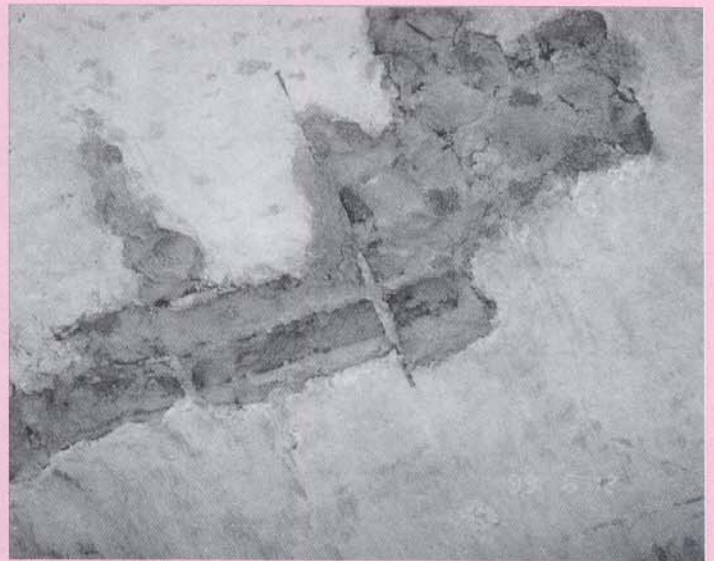
Estudos comprovam que obras de arte com idade em torno dos trinta anos têm tendência a apresentar problemas sérios, passíveis de

levá-las à ruína. Dentro deste contexto sinistro estão um sem número de pontes e viadutos em, praticamente, todas as capitais brasileiras, sejam em concreto armado ou protendido. Um exemplo bem característico foi o ocorrido em São Paulo com a ponte dos Remédios e, mais recentemente, em Salvador com o elevado no terminal rodoviário da Lapa. Como sempre, tratamos dos sintomas terminais, seja executando recuperação ou reforço, mas não, verdadeiramente investigando as causas, nem instalando sistemas de monitoramento que possibilitem, a partir da obra de recuperação, o total controle do processo de corrosão.

Esta matéria, baseada no boletim RD098 do Portland Cement Association (PCA), nos dá uma dica valiosa de como proceder a análise da estrutura da obra de arte, particularmente na região inferior do seu tabuleiro, tendo em vista investigar se há processo de corrosão e quantificá-lo, para após promover os serviços de recuperação e reforço, baseados nos dados levantados e não apenas no exame visual, como é de praxe. Queremos dizer que o tratamento dos sintomas terminais, facilmente identificados pelos deslocamentos impostos é uma estratégia errada. Primeiro, porque quase sempre tratam-se as áreas com corrosão de forma inadequada, deixando-se processos de corrosão por trás das armaduras. Segundo, porque o não levantamento do estado de corrosão, através da análise dos potenciais (semi-pilha) antes



Como sempre, nossas pontes e viadutos são recuperados a partir dos sintomas terminais, desconsiderando-se os sinais que estão sob a camada de recobrimento e ainda não estouraram. É um procedimento incorreto que penaliza diretamente o cliente e, particularmente, motoristas e pedestres, considerando-se a segurança da obra. Neste viaduto, no Rio, os serviços foram meramente estéticos, tratando-se infiltrações na região inferior do tabuleiro (viga caixa), quando, na verdade, dever-se-ia tratá-las na região superior. As juntas continuam a apresentar vazamentos, após a obra terminada. Quem está sendo enganado?



Os serviços de "recuperação estrutural" sendo executados. Na foto da esquerda, a tentativa de bloqueio ou interrupção das infiltrações, na região inferior do tabuleiro, o que deveria ser feito na região superior, com injeção de poliuretano hidroativado flexível (PH Flex). Desta forma, a água infiltrante perpetua o processo de corrosão. Na foto da direita, a "maquiagem" estrutural, que também perpetua o processo de corrosão. O próximo serviço de recuperação será mais caro ainda.

do início dos serviços (ou mesmo antes da elaboração da proposta) eterniza futuros serviços de recuperação. Terceiro, o prolongamento do processo de corrosão não tratado ou simplesmente ignorado traz prejuízos crescentes à estrutura. Quarto, efetivamente só se recupera um processo de corrosão neutralizando-o, aplicando-se na estrutura um outro processo eletroquímico, normalmente com Zinco Termo Projetado (ZTP), interligando esta película com as armaduras. Quinto, o monitoramento de processos de corrosão nas estruturas, efetivamente minimiza, ao extremo, futuros serviços de recuperação. Processos de corrosão em estruturas de pontes e viadutos têm ocorrido com certa frequência no mundo inteiro, ocasionando riscos à integridade dos usuários e dos transeuntes.

### A Corrosão

Todos sabemos que o aço empregado no concreto, seja protendido ou armado, em condições ideais, exibe alto grau de resistência à corrosão galvânica, motivado pela presença do filme de óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ), protetor ou passivante, que envolve as armaduras durante a concretagem. Este filme é perfeitamente estável no ambiente altamente alcalino existente na massa do concreto (PH 12,5 a 13,5) que, desta forma, dá proteção contínua ao aço. A névoa salina, as chuvas ácidas, a própria água de amassamento do concreto que pode ter teores de íons cloretos e dióxido de carbono comprometedores, tornando-a agressiva e a ação de gases e vapores corrosivos no ar, são as principais formas de introdução de agentes contaminantes que, efetivamen-

te, destroem aquele filme protetor, tornando a superfície do aço ativa e estabelecendo a condição de corrosão. Devemos salientar que, historicamente, não damos importância à espessura da camada de recobrimento e impermeabilidade à superfície do concreto sobre os cabos. Por isso, toda ação de agressão ao concreto, seja protendido ou armado, é extremamente facilitada.

Existem três requisitos básicos para o desenvolvimento de uma célula de corrosão galvânica no concreto estrutural.

- Íons cloretos suficientes para reagirem com o aço das armaduras.
- Oxigênio dissolvido para reagir nas regiões catódicas.
- Umidade suficiente para manter baixa a resistividade elétrica do concreto entre o ânodo e o cátodo.

## PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO

Proteger todo tipo de estrutura, em qualquer tipo de ambiente, em mais de dez países, requer mais do que conhecimentos de engenharia. São necessárias experiência e grande capacidade de análise em todas as áreas onde a corrosão se instala.

**Consulte-nos para qualquer dimensionamento de proteção ou problema em sua estrutura.**



Obras de Arte



Estruturas Offshore



Edificações

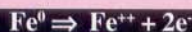
**Corpro**  
Companies  
Incorporated  
"A Commitment to Excellence"

Proteção Catódica – Estudo de Tintas – Pesquisa da Corrosão – Análise do Estado de Ruína - Laboratório



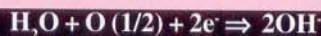
A recuperação estrutural do viaduto foi feita desta forma: as juntas de dilatação continuam a apresentar infiltrações, afetando as peças estruturais inferiores (1). Tamponamento dos locais infiltrantes, de forma superficial, já na região inferior do tabuleiro (2). Note que as armaduras apresentam sintomas de corrosão (3). Serviços de recuperação estrutural, sem investigação prévia, comprometem totalmente a qualidade da verdadeira recuperação ou gera superfaturamento.

A corrosão galvânica que ocorre nas armaduras do concreto é eletroquímica por natureza, o que significa que ânodos e cátodos são unidos pela umidade (solução) existente no concreto. Portanto, servindo como eletrólito, reduzindo a resistividade elétrica e fechando a reação química com a formação de um fluxo de corrente elétrica. A teoria clássica nos informa que numa célula de corrosão (cátodo/ânodo) o ferro metálico corrói ou oxida na região anódica, formando ferro ferroso com liberação de dois elétrons, de acordo com a conhecida fórmula:

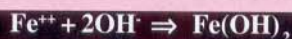


Estes elétrons viajam através do aço da armadura para combinar com o oxigênio, no ambiente úmido do cátodo, formando o íon

hidroxila de acordo com a seguinte reação:

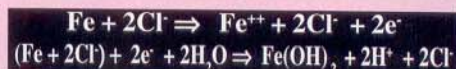


O íon hidroxila combina então com o ferro ferroso ( $\text{Fe}^{++}$ ), no ânodo, para formar hidróxido ferroso, de acordo com a reação:



Em presença da água e do oxigênio, o hidróxido ferroso reage para formar hidróxidos férricos ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) e óxidos férricos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). A presença de, pelo menos 0,15% de íons cloretos solúveis em água, sobre o peso do cimento, provoca reações intermediárias, reagindo com o ferro metálico para formar um complexo cloreto ferroso que, a seguir, reage com a água para pro-

duzir hidróxidos ferrosos:



A presença dos íons ( $\text{H}^+$ ) mantém o ambiente do ânodo com reduzido PH, favorecendo a continuidade da corrosão. Todas estas substâncias expandem, em maior ou menor grau, ocupando um volume bem superior à seção original das armaduras, provocando os deslocamentos.

### Os Testes Necessários à Avaliação do Tabuleiro da Ponte ou Viaduto

São sugeridos sete ensaios para uma avaliação global do estado da corrosão:



## Grupo falcão bauer

CREDENCIADO: INMETRO E IBQN

- CONTROLE GLOBAL DE QUALIDADE EM CONSTRUÇÃO CIVIL
- CONTROLE TÉCNOLÓGICO DE CONCRETO, SOLOS E PAVIMENTAÇÃO
- GERENCIAMENTO E FISCALIZAÇÃO DE OBRAS CIVIS
- INSPEÇÕES E LAUDOS TÉCNICOS EM ESTRUTURAS
- RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS (CONCRETO E METÁLICA)
- PROVAS DE CARGA / CONTROLE DE RECALQUE
- ANÁLISES QUÍMICAS E MATALOGRÁFICAS

**TELS.: (011) 861-0833 / 861-0677**  
**FAX: 861-0170 - TELEX: (11) 82-802**

**RUA AQUINO, 111 - CEP 05036-070 - SÃO PAULO - SP**

- 1- Mapeamento dos danos superficiais existentes na região inferior do tabuleiro.
- 2- Verificação da espessura do recobrimento.
- 3- Verificação do PH das superfícies com o lápis medidor de PH.
- 4- Ensaio, à percussão, para detectar deslocamentos futuros.
- 5- Medição dos potenciais (volts) elétricos na região inferior do tabuleiro (ASTM C 876).
- 6- Determinação do teor (concentração) de cloretos a várias profundidades.
- 7- Análise da resistividade elétrica.

Os primeiros quatro ensaios são executados facilmente pela equipe técnica e, basicamente, são testes complementares à análise da corrosão. Analisaremos, a seguir, os três últimos ensaios que, efetivamente, indicarão de forma direta a presença da corrosão em menor ou maior grau nas armaduras ou cabos do tabuleiro. Utilizamos dados fictícios extraídos de uma seção do tabuleiro de uma ponte imaginária.

### As Principais Análises

As quatro primeiras análises efetuadas referem-se à presença de trincas, deslocamentos e possíveis descolamentos do recobrimento do concreto.

A figura 1A é um diagrama esquemático (sem escala) que mostra a localização de trincas transversais existentes na região inferior do tabuleiro, presença de deslocamentos com armaduras expostas e corroídas. Estas trincas possivelmente podem ser moti-

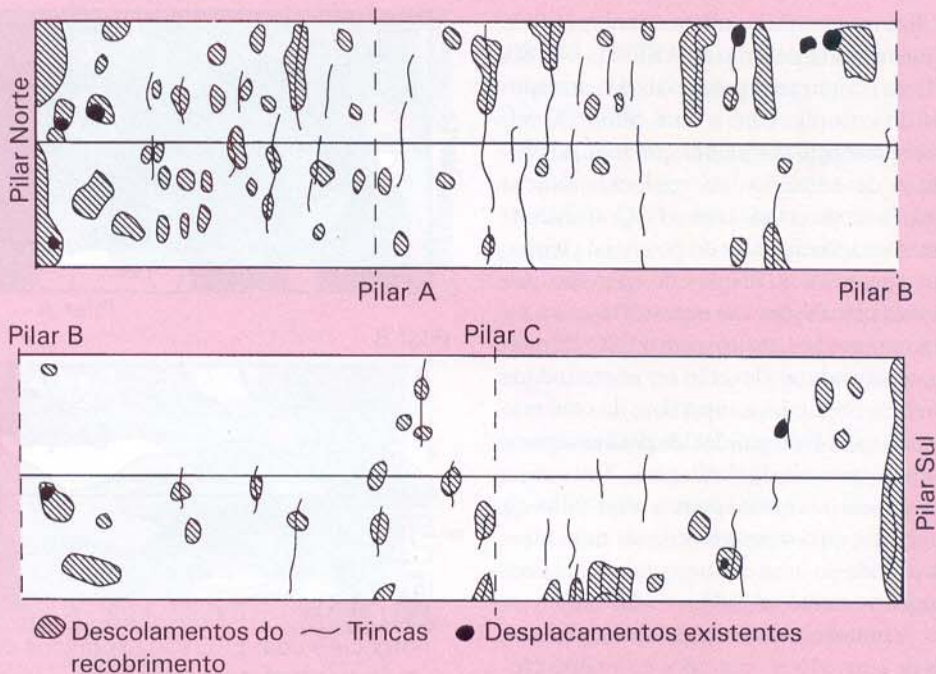
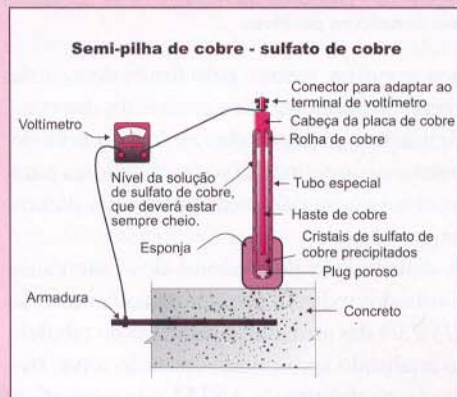


Figura 1A - Diagrama esquemático da região inferior do tabuleiro da ponte imaginária, mostrando a localização dos deslocamentos, trincas transversais e descolamentos da camada de recobrimento.

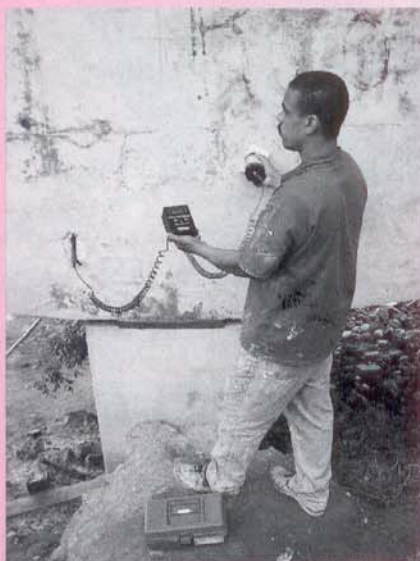


vadas pelo processo de corrosão nas armaduras transversais. Fissuras capilares trans-

versais também existem e só são observadas mediante análise visual apurada. Um hidrojateamento de areia é sempre sugerido, de modo a limpar as superfícies que se apresentam, eventualmente, com presença de breu e outras impregnações.

### Os valores dos potenciais elétricos

O método mais prático para se detectar a presença de células ativas de corrosão nas armaduras ou cabos é medindo-se os potenciais elétricos, em sua superfície, com a utilização da semi-pilha de referência que



## SEMI-PILHA CPV4

### Medição dos Potenciais de Corrosão

Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado, você agora dispõe do novo conjunto semi-pilha **CPV-4** com voltímetro digital.

A semi-pilha **CPV-4** é um revolucionário instrumento que mede a diferença de potencial (volts) da corrente contínua existente em todas as armaduras sintomáticas de corrosão. Com este equipamento pode-se levantar ou monitorar, de tempos em tempos, possíveis estados de corrosão e a sua evolução, antes de causar a perda de seção das armaduras com conseqüentes deslocamentos da camada de recobrimento do concreto.



**TINKER & RASOR**

Fax consulta nº 351

utiliza o eletrodo de sulfato de cobre (ESC). Este método é descrito na ASTM C 876-80, "Teste padrão para potenciais das armaduras do concreto com a semi-pilha". Qualquer presença, por menor que seja, de produtos de corrosão nas regiões anódicas poderá ser detectada com o ESC, através da interpretação do valor do potencial elétrico que aparecerá no display do aparelho. Algumas precauções são necessárias para assegurar uma boa análise com o ESC. Primeiro, as armaduras deverão ter continuidade elétrica. Segundo, a superfície do concreto deverá estar bem umedecida para assegurar leituras estáveis das voltagens. Terceiro, a resistência de contato entre a semi-pilha e a superfície do concreto precisa ser minimizada usando-se uma esponja umedecida com água levemente salgada.

Os resultados das voltagens dos potenciais de corrosão encontrados na análise efetuada encontram-se na figura 1B. Normalmente risca-se uma malha quadrada de 1m de lado para identificar os locais onde se irá aplicar o teste com a semi-pilha. Na figura 1B, linhas equipotenciais definem áreas de mesmo potencial para intervalos de 100mV com o ESC. Diferentes potenciais entre áreas relativamente grandes podem significar áreas com macrocélulas de corrosão. O intervalo de 100mV utilizado é bastante conveniente pelo fato de que uma ddp desta magnitude é considerada suficiente para estabelecer uma célula de corrosão viável entre duas áreas. Na figura acima, áreas com potenciais mais negativos são, geralmente, cercadas tanto por áreas de potencial me-

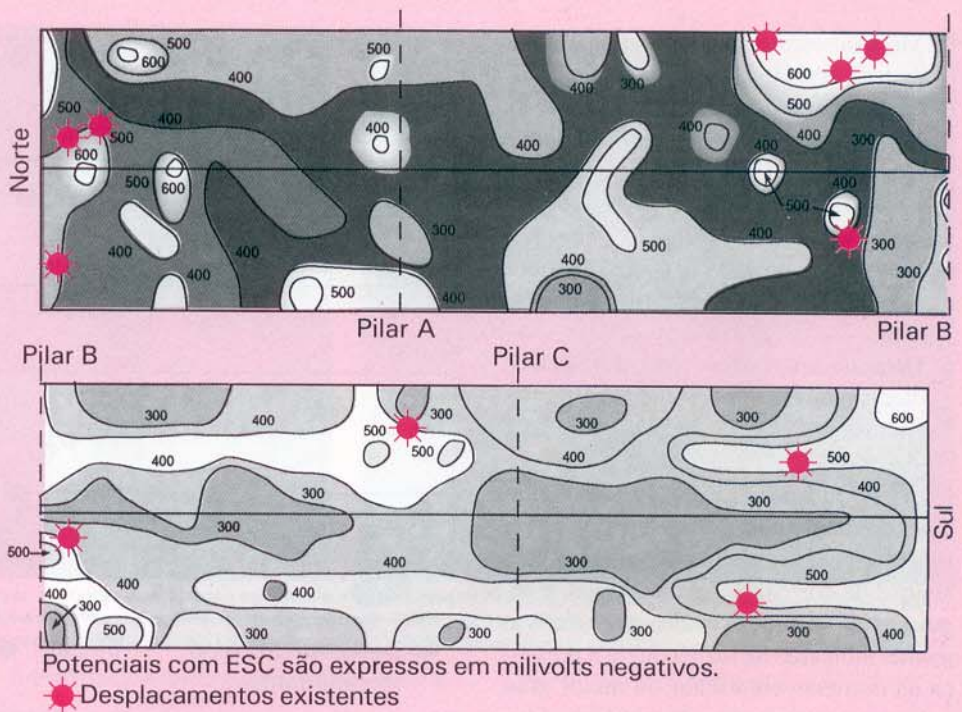


Figura 1B - Diagrama da região inferior do tabuleiro mostrando a distribuição dos potenciais elétricos nas armaduras positivas.

nos negativo, quanto pelo limite do guarda corpo do tabuleiro. Nos gradientes das configurações apresentadas ao lado, a área de potenciais mais negativos será anódica para as áreas circundantes de potenciais menos negativos.

A distribuição dos valores dos potenciais mostrados indicam que, aproximadamente de 2/3 a 3/4 das armaduras positivas do tabuleiro analisado apresentam corrosão ativa, baseado na diretriz da ASTM que especifica corrosão para potenciais mais negativos do

que  $-300\text{mV}$  do ESC. Nestes casos, as áreas entre  $-300\text{mV}$  e  $-400\text{mV}$  poderiam ser catódicas para as áreas mais negativas anexas que, provavelmente, estariam em processo de corrosão mais ativa. Uma outra característica evidenciada na figura 1B é a distribuição das áreas anódicas e catódicas ilustradas, por exemplo, pela grande área à esquerda do pilar B, onde os potenciais foram mais negativos que  $-600\text{mV}$ . Baseado nesta medição, esta área seria anódica, teoricamente, para as áreas circundantes onde os potenciais apre-

**APOLLO**  
TINTAS SOB MEDIDA

Solicite um representante ou ligue para conhecer nossa linha de tintas para a área industrial e para a construção civil.

Fabricamos tintas sob encomenda, segundo as normas americanas e européias.

**apollo**  
TINTAS APOLLO

APOLLOPOXI (EPÓXI) • ACRIOBRIL (ACRÍLICO EM SOLUÇÃO) • APOLLODUR (POLIURETANO) • APOLLIT (SILICONE) • APOLLOCRIL (EMULSÃO)

Tels.: (021) 796-1951 / 796-4633 • Fax: (021) 796-3664



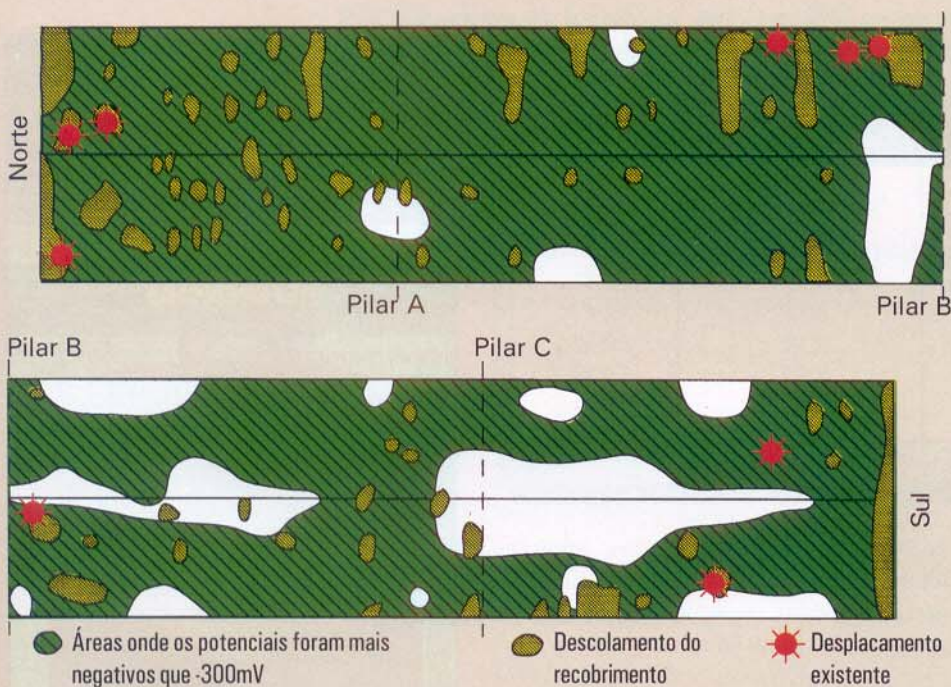


Figura 1C - Diagrama da região inferior do tabuleiro, evidenciando áreas onde os potenciais foram mais negativos que -300mV, e áreas de ocorrência de descolamentos e deslocamentos.

sentaram-se menos negativos do que -600mV, desde que confirmada a continuidade elétrica nas armaduras naquela região. Estas áreas circundantes poderiam funcionar como grandes catodos, com ddp's tão altas quanto -300mV existentes entre anodos e catodos.

Diferenças de potenciais desta magnitude podem significar, comparativamente falando, altas taxas de corrosão. A figura 1B também mostra deslocamentos em relação aos valores das voltagens encontradas, informando que aqueles sintomas desenvolveram-se onde os potenciais

apresentavam-se mais negativos que -400mV e, com alguma frequência, onde os potenciais foram mais negativos do que -500mV. Isto significa que as diferenças nos potenciais encontrados, mais do que simples valores numéricos, na verdade, representam os melhores indicadores para aquelas regiões onde há corrosão mais ativa.

A figura 1C a seguir, ilustra a distribuição dos deslocamentos existentes em regiões onde, no ensaio à percussão, evidenciou-se o descolamento do revestimento, tudo com referência às áreas dos potenciais (hachurada) mais negativos que -300mV. Com poucas exceções, os problemas ocorreram onde os potenciais foram mais negativos que -300mV. As exceções, provavelmente, refletem a inatividade no momento das medições.

### Teor de cloretos

Foram retiradas amostras de pó de concreto, a diversas profundidades, com utilização de furadeira e broca, objetivando-se determinar a contaminação pela concentração de cloretos. A localização dos pontos de coleta foi feita com base nos resultados dos potenciais elétricos levantados. Os resultados foram obtidos



# CANIN

CANIN é a semi-pilha que você precisa. As coordenadas da área que você delimitar no aparelho são automaticamente preenchidas com o posicionamento do eletrodo. Seu plano de estocagem é superior a 1.000 leituras, que podem ser lançadas diretamente no computador já com as isostáticas de corrosão. CANIN não deixa você perder tempo.

**O INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA CORROSÃO MAIS COMPLETO QUE EXISTE.**



ISO 9001

proceq

Fax consulta nº 352

## Resultados do teor de cloretos

| Profundidade na qual foram extraídas as amostras | Teor de cloretos (% em relação ao peso de cimento) |   |                  |
|--|--|---|------------------|
|  | Potencial - 600mV                                  | Potencial - 400mV                           | Potencial 200mV  |
|  | Onde se presenciou descolamento do recobrimento    | Adjacente aos descolamentos do recobrimento | Nas áreas firmes |
| 0 - 6mm  | 0,91   | 0,71  | 0,91             |
| 19mm - 25mm                                      | 0,71*  | 0,73*                                       | 0,49*            |
| 38mm - 44mm                                      | 0,45   | 0,49  | 0,50             |
| 57mm - 63mm                                      | 0,44   | 0,42  | 0,33             |
| 75mm - 82mm                                      | 0,36   | 0,38  | 0,18             |

\* Significa o teor de cloretos ao nível das armaduras.

Figura 1D

na própria obra, utilizando-se kits de reagentes (Chlor-Test). Os resultados encontram-se na figura 1D. O menor teor de cloretos analisado ficou situado além do nível das armaduras positivas, possuindo 0,33% numa zona de concreto firme, que apresentou potenciais de -200mV. Os teores de cloretos onde ocorreram os descolamentos do recobrimento por problemas de corrosão, com potenciais entre -600mV e -400mV, variou de 0,36% a 0,91%. Portanto, nestas três regiões, o teor de cloretos foi bem superior ao limite de 0,20%, normatizado pelo American Concrete Institute, acima do qual, corrosão ativa é bem provável. Uma observação interessante está situada em lugares com -200mV, localizadas em regiões firmes, indicando que as armaduras ali não tinham processo de corrosão. Neste caso, é possível que aquelas regiões das armaduras tenham funcionado como catodos, em relação a macrocélulas de áreas circundantes, com potenciais mais negativos e que representam regiões anódicas com corrosão bem ativa. Com base nisto, o teor de cloretos com valores acima do limite, por si só, pode não necessariamente indicar que o aço naquela região apresente um estado de corrosão ativa na hora da medição. Entretanto, se os potenciais nestas áreas circundantes forem menos negativos (isto é, em torno de -100mV ou mais), então é bem provável que haja corrosão ativa naquela região.

Os dados da figura 1D informam também que à medida que se aprofunda a coleta do pó do concreto na região inferior das lajes dos tabuleiros, diminuía-se a concentração de cloretos, significando que a contaminação foi gerada pelo ambiente marinho ou maresia, que penetrou através da superfície do concreto. Com isto, retira-se a possibilidade de que as armaduras superiores

do tabuleiro poderiam funcionar como catodos, em relação às armaduras junto à superfície inferior, promovendo, portanto, o processo de corrosão ativa.

### A Resistividade Elétrica

Na maioria das nossas capitais há sempre níveis elevados de umidade, condição esta que passa para as estruturas de concreto, sejam armadas ou protendidas. Considerando, portanto, a existência de umidade suficiente dentro do concreto teremos como consequência a redução de sua resistividade elétrica, funcionando este como eletrólito na ligação entre anodos e catodos. Por outro lado, o processo de secagem promovido pelos dias calorentos e com a diminuição da umidade ambiente, favorecerá o aumento da resistividade elétrica do concreto a ponto das células de corrosão não poderem se estabelecer ou, no caso de já existirem, diminuir o fluxo da corrente existente. Resistividades do concreto menores do que 500 kΩ-cm têm sido aceitas como valor máximo, abaixo da qual, células de corrosão certamente se estabelecem.

O processo benéfico de secagem do concreto traz, por outro lado, o ingresso de oxigênio para dentro do concreto. A variação da umidade relativa diária, quase sempre alcançando-se níveis altos, em torno dos 70% ou mais, aliada à frequência de chuvas, promoverá um processo de corrosão acelerado no concreto armado ou protendido.

Uma boa solução para esta situação é a aplicação de silano, tanto na região inferior do tabuleiro, como no pavimento de concreto ou de concreto asfáltico. Grandes infiltrações devem ser combatidas dentro do tabuleiro, na laje superior, com a técnica da injeção de poliuretano hidroativado flexível (PH Flex).

Fax consulta n° 354

Se você tiver alguma questão acerca desta matéria, por favor, envie-nos seu fax consulta, não esquecendo de citar, especificamente, o que deseja discutir.

### REFERÊNCIAS

- Carlos Alberto Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- Monfore, G.E., and Verbeck, G.J., "Corrosion of Prestressed Wire in Concrete", Journal of the American Concrete Institute, Proceedings, Vol. 57, November.
- Shalon, R. and Raphael, M., "Influence of Sea Water on Corrosion of Reinforcement", Journal of the American Concrete Institute, Proceedings, Vol. 56, June.
- Browne, Robert D., "Mechanisms of Corrosion of Steel in Concrete in Relation to Design, Inspection, and Repair of Offshore and Coastal Structures", American Concrete Institute Publication SP-65.
- Virmani, Yosh Paul, Jones, Walter R., and Jones, David H., "Steel Corrosion Sites", Public Roads, Vol. 48, No. 3.
- Lewis, D.P., "Some Aspects of the Corrosion of Steel in Concrete", Proceedings of the First International Congress on Metallic Corrosion, London.
- "Guide do Durable Concrete", Reported by ACI Committee 201, Journal of the American Concrete Institute, Proceedings, Vol. 74, No. 12.
- Hausman, D.A., "Steel Corrosion in Concrete", Material Protection, November.
- Powers, T.C., Copeland, L. E., Hayes, J.C., and Mann, H. M., "Permeability of Portland Cement Pates", Journal of the American Concrete Institute, Proceedings, Vol. 51.
- Ost, Borje, and Monfore, G. E., "Penetration of Chloride into Concrete", Journal of the PCA Research and Development Laboratories, Vol. 8, No. 1.
- Clear, K. C., "Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs", Federal Highway Administration, Report FHWA-RD.
- Gjorv, O.E., Vennesland, O., and El-Busaïdy, A.H.S., "Diffusion of Dissolved Oxygen through Concrete", NACE Corrosion.
- Monfore, G. E., "A Small Probe-Type Gage for Measuring Relative Humidity", Journal of the PCA Research and Development Laboratories, Vol. 5, No. 2.

Você é do tipo que gosta de recuperar, faz recuperação, mas lê revista de construção?

Assine e Leia

**RECUPERAR**

# Fibrocarbone à Italiana

Viaduto com histórico de grandes problemas foi, finalmente, reforçado com tecnologia High-Tech.

Joaquim Rodrigues



O viaduto da Calafúria pode ser encontrado na Rodovia Estadual 1, chamada Estrada "Aurelia", na província de Livorno. Trata-se de uma ponte toda concretada no local, tendo 120m de extensão, um vão central de 80m e quatro vãos laterais de 9m, suportando um tabuleiro de 10m de largura. A estrada principal pode ser comparada a um arco poligonal fixado em ambas as extremidades por estroncas ou tirantes. Construído entre 1947 e 1948, este viaduto foi motivo de dois grandes serviços de recuperação e reforço:

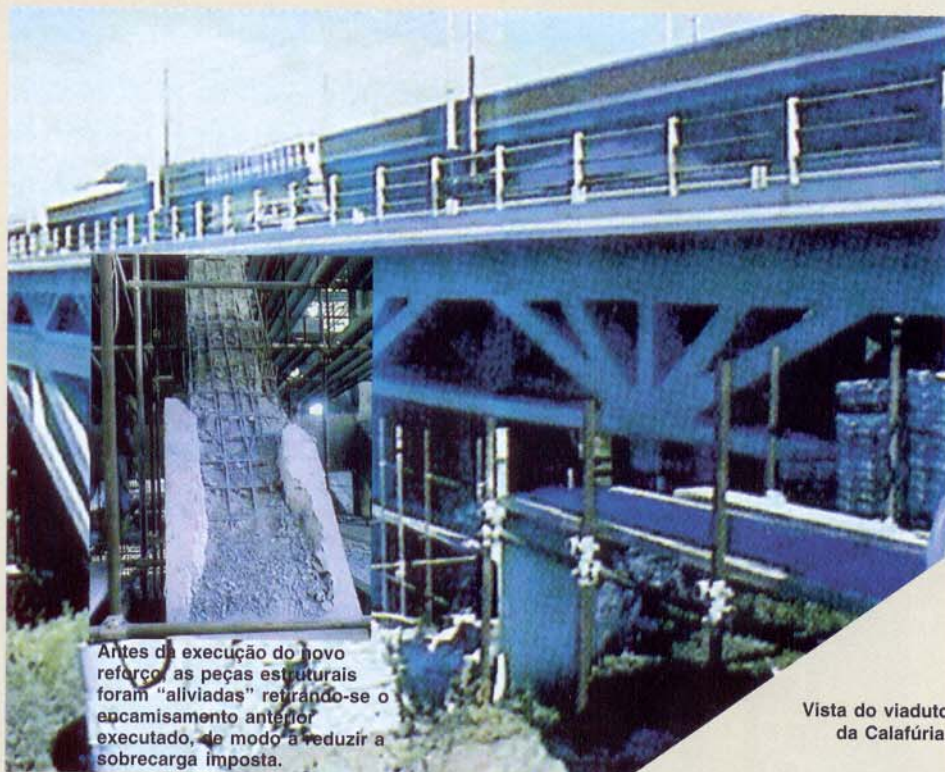
### • 1950/1956

Uma tela eletrosoldada foi aplicada em todas as peças estruturais de sua infraestrutura, envolvendo-as, com posterior aplicação de concreto projetado.

### • 1978/1979

A ponte recebeu novamente em sua infraestrutura peças estruturais. Ambas em forma de reforço, sendo que duas encamisando as antigas e as demais, apenas por justaposição. Consciente ou não, este outro reforço sobrecarregou demais a estrutura.

Apesar deste histórico crítico, a ponte continuou a apresentar grandes sintomas de deterioração que, juntamente com o aumento do volume de tráfego em seu tabuleiro, motivaram novos serviços de reforço estrutural. No histórico anterior ao último serviço de reforço já tinham sido detectadas micro e macro trincas extensas, ao longo dos pilares e tirantes, apresentando grandes profundidades.



Antes da execução do novo reforço, as peças estruturais foram "aliviadas" retirando-se o encamisamento anterior executado, de modo a reduzir a sobrecarga imposta.

Vista do viaduto da Calafúria.

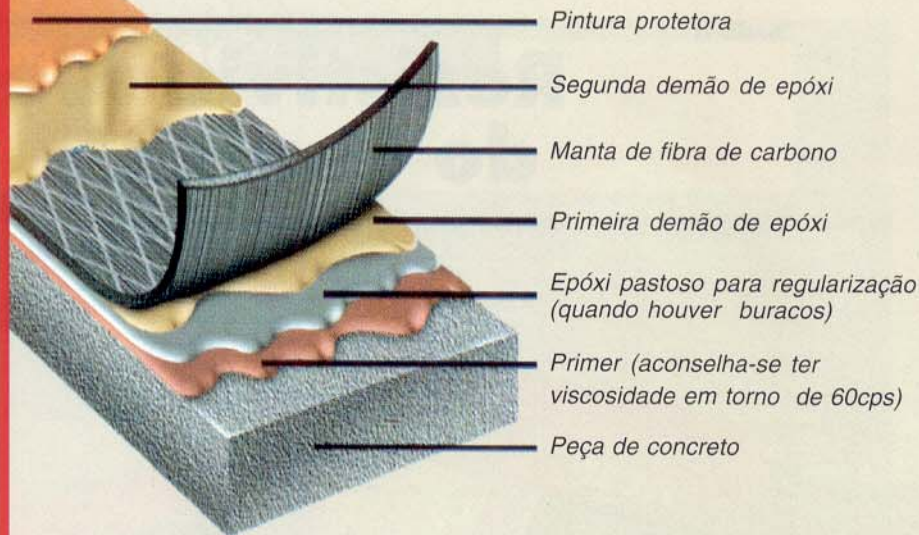
## A Destruição do Concreto pela Água do Mar

Os íons sulfatos (a ação da água do mar sobre a pasta de cimento é essencialmente devida à reação do íon sulfato que, em média, apresenta uma concentração de cerca de 2,5g por litro), reagindo no ambiente úmido/saturado do interior do concreto formam, com os aluminatos de cálcio hidratados do cimento ou com a alumina reativa do agregado graúdo (brita), produtos expansivos que, invariavelmente, detonam a estabilidade do concreto armado endurecido. Um pouco de história é bom e mostra que VICAT, em 1856, observou que a água do mar promove a decomposição dos aglomerantes hidráulicos, manifestando-se inicialmente pelo processo de expansão seguido de fissuração, degenerando toda a coesão da massa endurecida. Em outras palavras, é a transformação de uma parte da cal em gesso e na etringita, que são responsáveis por todos estes danos. Numa revisão dos limites aconselhados por diferentes autores e por diferentes normas, apontamos valores que vão desde 70mg/litro até 1.000mg/litro como os teores mínimos, acima dos quais ocorre a destruição da matriz da pasta de cimento portland.

## A Destruição das Armaduras

Os íons cloretos também penetram na estrutura através das micro trincas ou pela própria macro porosidade natural em todos os concretos e, uma vez em contato com as armaduras, precipitam um irreversível estado de corrosão, com aumento do volume das barras de aço. Como os materiais não metálicos não têm a propriedade de possuir elétrons livres através de sua rede, só não atacados por meios corrosivos capazes de reagirem quimicamente sob determinadas condições. Em geral, no caso do concreto armado, resistem à água e à atmosfera normal, exatamente pelo fato de haver uma película pastosa de cimento que envolve e passiva as armaduras. A descontinuidade desta película abre caminho para a ação do processo de corrosão nas armaduras. A corrosão no concreto armado é de natureza eletroquímica devido à presença de um eletrólito (geralmente uma solução aquosa de um sal, ácido ou base inserida nesse falso sólido chamado de concreto) em contato com as armaduras, daí o nome corrosão eletroquímica. Esta corrosão gera uma corrente elétrica que se dirige do anodo para o catodo, através da ligação elétrica entre os dois (o aço) e deste para o anódo, através do eletrólito (concreto) para completar o circuito elétrico. Têm sido encontrados anodos distanciados de catodos, com distância superior a 3 metros.

A norma alemã, por questões de referência, diz que, se a água de contato com o concreto armado tiver mais do que 1.500mg de cloretos por litro, é aconselhável que haja um recobrimento superior a 3cm. Mesmo assim, considerando a condição de pseudo-sólido do concreto, sugere-se sempre a utilização de uma membrana de proteção flexível (por exemplo, epóxi flexível) adequada a cada tipo de contato ou ambiente.



Esquema da metodologia de reforço com Fibrocarbone.

Somente agora, com os trabalhos de avaliação das causas deste estranho histórico, e é bom que se diga, antes dos trabalhos de recuperação, revelou-se a presença de grandes concentrações de íons cloretos e sulfatos no concreto, função do contato direto com a água do mar.

Durante os trabalhos de remoção do antigo encamisamento, totalmente comprometido por fissuras e trincas, feito com concreto projetado, constataram-se dois fatos interessantes:

- A interface com o antigo concreto não apresentava qualquer resistência de colagem.

*continua na pág. 34*

### Ficha Técnica

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Projeto                 | Depto. de Obras de Florença (Itália)      |
| Empresa de Recuperação  | CO IM SpA (Trapani) (Itália)              |
| Consultoria             | ANAS Depto. de Obras de Florença (Itália) |
| Laboratório Tecnológico | Universidade de Pisa (Itália)             |

# RECONCRET

Engenharia de Recuperações e Estruturas Ltda

- RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS
- REFORÇO ESTRUTURAL COM
- UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO
- INJEÇÃO DE GROUT QUÍMICO
- TRATAMENTO DE CONCRETO APARENTE
- IMPERMEABILIZAÇÕES

Avenida Eusébio Matoso, 422 - São Paulo  
Fone: (011) 212-2877 FAX: (011) 813-8527

## O Fibrocarbone

O Japão responde por esta tecnologia há cerca de 15 anos, reforçando obras de arte de concreto armado, particularmente aquelas sujeitas aos terríveis terremotos de que já tomamos conhecimento. De um modo geral, no nosso continente, este tipo de reforço é aplicado em peças estruturais sujeitas a sobrecargas adicionais, fora das especificações de projeto ou a deformações excessivas causadas por:

- Mudanças nas cargas de utilização.
- Erros de construção ou de projeto.
- Perda da capacidade suporte.

É muito comum, entre nós, a utilização do Fibrocarbone no reforço de lajes de garagens de shoppings, pilares de edificações e, sobretudo pontes.

O Fibrocarbone consiste em uma avançada manta de fibra de carbono inserida numa matriz epóxica, oferecendo grandes vantagens em relação aos tradicionais métodos de reforço.

### Algumas das Vantagens do Fibrocarbone

- ↑ Ausência de sobrecarga na estrutura.
- ↑ Ausência de corrosão, com durabilidade superior à do concreto.
- ↑ Facilidade e rapidez na instalação, necessitando apenas de dois a três técnicos.
- ↑ Flexibilidade em todos os sentidos. A manta é fornecida em rolos com 50cm de largura e 50m de comprimento. O corte da manta é feito, facilmente, com uma tesoura e adaptado a qualquer tipo de peça estrutural.

A gama de benefícios estruturais são inúmeras, incluindo-se o aumento nas resistências à flexão, cortante, compressão, fadiga, rigidez e, claro, oferecendo durabilidade.

Historicamente, a tecnologia de aplicação de elementos com alta resistência à tração, em peças estruturais sujeitas a tensões de trações, foi desenvolvida no início dos anos 60 por L'Hermité e Bresson, utilizando chapas de aço coladas com epóxi.



O aumento da resistência à compressão, devido ao confinamento, com o Fibrocarbone. Repare que a seção do pilar é quadrada.



O reforço à flexão com o Fibrocarbone.



## ...E VOCÊ ACABOU DE PASSAR O EPÓXI EM SEU PISO...

Proteja seu piso de concreto contra a ação de ácidos (com grande concentração) e substâncias fortemente alcalinas com o **EPÓXI INDUSTRIAL N° 29**. Moderníssimo sistema de epóxi novolac e éster vinílico, made in USA, especialmente projetado para suportar tudo aquilo que os melhores epóxis não conseguem suportar.

Ataque Químico não mete mais medo.

**Aplique  
Epóxi Industrial n° 29**

Consulte-nos!

 **-POXY**  
INDUSTRIES, INC.

Fax consulta n° 271

- O concreto projetado aplicado, extremamente poroso, permitiu a entrada do dióxido de carbono do ar, provocando a carbonatação da pasta de cimento, diminuindo o PH da massa, abrindo, portanto, uma nova frente de ataque às armaduras.

### O Novo Reforço da Ponte

Como vimos, todos os serviços de recuperação anteriores acrescentaram uma considerável sobrecarga à estrutura que, juntamente com o aumento natural da carga viva atuante no tabuleiro, promoveu uma carga superior à do projeto original. Tornava-se necessário, portanto, promover o reforço da estrutura, sem acrescentar qualquer outra carga adicional permanente. O projeto de reforço da ponte baseou-se no seguinte programa:

- Remoção do concreto comprometido.
- Limpeza das armaduras com hidrojateamento de areia.
- Limpeza do concreto.
- Aplicação de inibidor de corrosão.
- Instalação de eletrodo de referência para monitoramento da corrosão.
- Correção das imperfeições das superfícies com argamassa modificada com polímeros.
- Aplicação do reforço estrutural com a técnica do Fibrocarbone.
- Aplicação de tinta especial de proteção estética.

### Conclusão

A técnica do Fibrocarbone ou do reforço de estruturas de concreto armado com manta

| Argamassa Polimérica Usada |  |
|----------------------------|--|
| Resistência à Compressão   | dias $\left\{ \begin{array}{l} 1 > 10 \text{ MPa}; \\ 3 > 21 \text{ MPa}; \\ 28 > 35 \text{ MPa}. \end{array} \right.$ |
| Resistência à Flexão       | dias $\left\{ \begin{array}{l} 1 > 4 \text{ MPa}; \\ 3 > 6 \text{ MPa}; \\ 28 > 12 \text{ MPa}. \end{array} \right.$   |
| Módulo de Elasticidade     | 23 MPa.  |
| Aderência ao Concreto      | > 2,5 MPa  |
| Aderência ao Aço           | > 12MPa  |
| Compatibilidade Técnica    | Positivo após 50 ciclos  |

| Propriedades do Fibrocarbone |       |
|------------------------------|-------|
| Densidade                    | 0,300 |
| Espessura Efetiva            | 0,163 |
| Resistência à Tração (MPa)   | 3430  |
| Módulo de Elasticidade (MPa) | 23    |
| Deformação Última (%)        | 1,5   |

de fibra de carbono substituí integralmente o sistema de reforço por "chapa colada" e dá alternativa mais eficaz ao reforço para

concreto projetado e para aquelas duvidosas aplicações de grout cimentícios com módulos totalmente incompatíveis com o concreto original, reduzindo as deformações, aumentando a rigidez, a resistência à fadiga e, efetivamente, a capacidade de carga da estrutura, além de bloquear o acesso à penetração de agentes contaminantes. **T**

Fax consulta n° 356

Se você tiver alguma questão acerca desta matéria, por favor envie-nos o fax consulta, não esquecendo de citar, especificamente, o que deseja discutir.

### REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é Eng° Civil, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologia da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor técnico de diversas empresas.
- Hoshikuma J, Kawashima K, Nagaya K. A stress-strain model for reinforced concrete columns confined by lateral reinforcement, Concrete Library of JSCE, no. 27.
- Miyauchi K., Nishibayashi S., Inoue S. Estimation of strengthening effects with carbon fibre sheet for concrete column, Proceeding of third International Symposium Non Metallic FRP Reinforcement for Concrete Structures, Japan Concrete Institute, Sapporo.
- Arduini M., et al., 'Il confinamento passivo di elementi compressi in calcestruzzo con fogli di fibra di carbonio, accepted for publication in Industria Italiana del Cemento, 1999.
- Aci Committee 440, State-of-the-Art Report on FRP for Concrete Structures, ACI440R-96, Manual of Concrete Practice, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Distart - University of Bologna, Report of contract N.185.



QUANDO O ASSUNTO É IMPERMEABILIZAÇÃO...

...contra a carga hidrostática, não adianta fazer tratamento tópico.

A tecnologia da injeção com poliuretano hidroativado PH Flex ataca, de maneira profunda, a água de onde quer que ela venha. Assim, infiltrações em barragens, paredes diafragma, minações d'água em pisos e poços de elevadores, galerias, metrô e vazamentos em castelo d'água são resolvidos direta e profundamente, sem chance de retorno. Para sempre!



TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE DÃO PROBLEMA. TRATE PROFUNDAMENTE. INJETE PH FLEX.