



Afundamento do terreno devido aos vazamentos.



Escavação em um trecho comprometido.



Uma das trincas após a limpeza.

Corrosão e vazamentos interrompem linha de efluentes em concreto protendido.

Marcelo Schultz

Tubulação desprotegida, interna e externamente, rompe em vários trechos devido à corrosão. Conheça os detalhes de sua recuperação.

Tubulação em concreto protendido virou mania nacional industrial. Nosso crescente sistema de esgotos é um dos que mais recebe este tipo de tubulação. No setor industrial petroquímico então, já há algumas dezenas de anos, recebe linhas de tubos desta natureza, invariavelmente para trabalhar enterradas. Sua função? Conduzir líquidos de toda natureza.

A questão da proteção da superfície do concreto, no entanto, volta à tona e é questionada. É correto dimensionar tubulações de concreto protendido sem qualquer proteção para os fios do aço, acreditando apenas que a camada de recobrimento do concreto será um santo revestimento impermeável? Evidentemente que não. No entanto, sete entre dez projetistas ainda pensam assim, ou seja, que o aço é protegido pelo meio alcalino

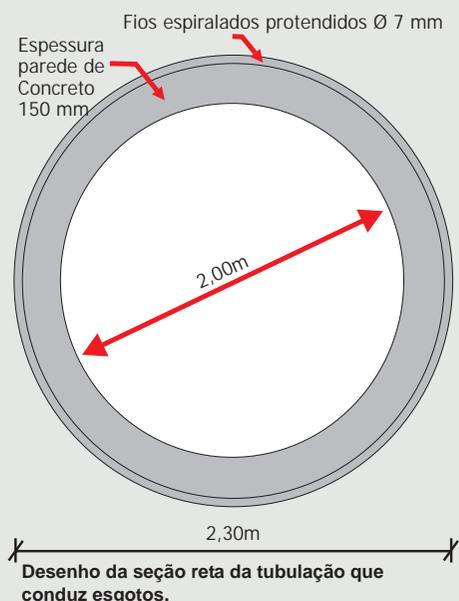
com craxá entre 12 e 13, ficando eternamente em estado passivo. Ilusão gigantesca. O concreto, seja armado ou protendido,

GLOSSÁRIO

Eletrólito – solução química que contém ions que migram do anodo para o catodo.

Íon – um átomo ou grupo de átomos que ganharam ou perderam um ou mais elétrons (da camada externa ou de valência), passando a carregar uma carga elétrica.

pH – um número que denota o grau de acidez ou de alcalinidade. 7 é o valor neutro. A acidez aumenta com a diminuição deste valor. De forma contrária, valores superiores a 7 aumentam a alcalinidade.



TUBOS PROTEGEM O AMBIENTE...

... E QUEM PROTEGE OS TUBOS?

TERRA ANODO G (TAG)

Tubulações em concreto armado/protendido conduzem líquidos de toda a espécie, invariavelmente agressivos às armaduras ou fios protendidos. Assim, é só uma questão de tempo para surgirem vazamentos, prejuízos, contaminação ambiental e paralização do sistema. Proteção Catódica (PC) é a única solução eficaz no tratamento da corrosão de armaduras, fios e cabos de protensão. TAG

garante sua estrutura de forma clara e monitorada, sem qualquer chance para a corrosão, conduz a tubulação qualquer tipo de "líquido". Se você estiver projetando tubulações enterradas ou se já estiver com um abacaxi nas mãos, ponha tecnologia em seus serviços. TERRA-ANODO G. Damos total assessoria técnica. Entre você também nesta cruzada.



O TERRA-ANODO G é fornecido com diversas seções e comprimentos.

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-4702
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 02

Corrosividade do solo (Resistividade)

Resistividade do solo (ohm.cm)	Corrosividade
Acima de 30.000	Não corrosivo
Entre 15.000 e 30.000	Meio corrosivo
Entre 10.000 e 15.000	Corrosivo
Abaixo de 10.000	Muito corrosivo

A corrosividade do solo é praticamente proporcional à diminuição de sua resistividade. E esta é uma indicação de que muita umidade e sais dissolvidos estão presentes.

com fumo de sílica, escória ou cinzas, ainda é suficientemente permeável, significando dizer que o líquido que corre na tubulação também corre nas veias do concreto.

Falando de forma objetiva, poder-se-á dizer que o aço passivado, sob os efeitos da alcalinidade do concreto, possuirá potenciais (voltagem) que variam de +100 a -250mV em relação a uma semi-pilha de cobre-sulfato de cobre (CPV-4).

Água, esgotos, efluentes industriais ácidos ou básicos, tudo que flui dentro (e fora) da tubulação de concreto, descamisado de proteção específica a cada um daqueles líquidos, também circula dentro dos vazios ou capilares do concreto. Pior, chega à pele dos

fios de aço altamente tensionados. Ora, esquecemos que o aço é um metal composto por noventa e tantos por cento de ferro que, por si só é extremamente reativo em presença de líquidos. Adicione-se alguns outros metais em sua composição e aí teremos, em presença daqueles belos eletrólitos, mais reatividade turbinada agora por pilhas de corrosão, cujo processo chama-se corrosão galvânica. Bastante característica do metal chamado aço. A visão microscópica da superfície dos fios de aço, assim neste estado, evidenciará ou mostrará milhares de regiões anódicas e catódicas, sendo que nas primeiras observar-se-á o ferro sendo dissolvido na solução (Fe^{++}) ali pre-

sente. Na região catódica, além do líquido presente, está o oxigênio, indivíduo competente e principal mandante de tudo que ocorre lá na região anódica.

GLOSSÁRIO

Semi-pilha – ou eletrodo de referência, é um eletrodo cujo potencial de corrosão é constante sob condições similares de medição. É usado para medir potenciais relativos a outros metais.

Anodo de sacrifício – um metal ou liga metálica menos nobre do que o aço da construção e que sofre corrosão galvânica ao ser ligada ao aço.

Resistividade – significa dificuldade no transporte de corrente. Quanto menor a resistividade, maior a condutividade ou o transporte de corrente. Solos corrosivos são aqueles que contêm grandes concentrações de sais solúveis que otimizam a condutividade elétrica. O conhecimento da resistividade do solo informa o seu grau de corrosividade. O conhecimento do fluxo e nível da água subterrânea, assim como o pH do solo, complementam a pesquisa. Regiões do solo com diferentes pH, por si só, provocam diferenças de potenciais no aço e corrosão.

Sulfeto de hidrogênio (H_2S) – gás ácido corrosivo e venenoso que tem como característica o cheiro de ovo podre.

Halogênio – denominação dada aos elementos cloro, flúor, bromo e iodo, devido a grande facilidade com que formam substâncias salinas ao combinarem-se com elementos eletropositivos como o cálcio.

MEDIDOR DOS POTENCIAIS DE CORROSÃO

Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado, já está disponível o novo conjunto semi-pilha **CPV-4** com voltímetro digital. A semi-pilha **CPV-4** é um revolucionário instrumento que mede os potenciais de corrosão em superfícies de concreto armado e protendido. Com este equipamento poder-se-á levantar ou monitorar, de tempos em tempos, possíveis estados de corrosão e a sua evolução, antes que a estrutura apresente sinais de ruína por sintomas de corrosão (desplacamentos).

TR Technologies

Tele-atendimento

(0XX21) 2493-4702

fax (0XX21) 2493-5553

produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 03

SEMI-PILHA CPV4

Mas o que fazer então?

É praxe revestir (particularmente com epóxis do tipo novolac) por fora e por dentro, as tubulações de concreto protendido (e armado), de modo a impedir que o líquido que irá fluir dentro da linha adentre nos capilares do concreto e faça contato com os fios protendidos. Da mesma forma, externamente, procura-se impedir que a água freática e o próprio solo façam contato direto com o concreto. Com relação ao solo, deve-se-á checar sua resistividade, pois va-

lores baixos, ou seja, menores do que 2.000ohm.cm, induzirão corrosão no concreto. Solos permeáveis que apresentem flutuação do lençol freático ou apenas movimentação da água subterrânea, envolvendo ou não a tubulação, promovem a lixiviação dos íons cálcio e hidroxilas da matriz cimentícia, reduzindo seu pH. Algumas normas já prognosticam corrosão para solos com as seguintes condições:

- Solos ácidos, com pH igual ou menor que 5.
- Teor de sulfatos maior do que 6000ppm.
- Teor de magnésio maior do que

50.000ppm.

- Alto teor de CO₂ livre na água freática.

A verdade é que mesmo todo e qualquer revestimento, seja epóxico, poliuretano,

GLOSSÁRIO

Corrente galvânica – corrente elétrica que flui entre metais condutivos. Base da chamada proteção catódica por corrente galvânica.

Corrente impressa – pertence à chamada proteção catódica por corrente impressa. É corrente direta, fornecida por aparelhagem ligada à rede elétrica, que chega ao aço da estrutura a ser protegida.



INTERFACES com VAZAMENTOS?

BEIJU ELASTOMÉRICO



NELAS

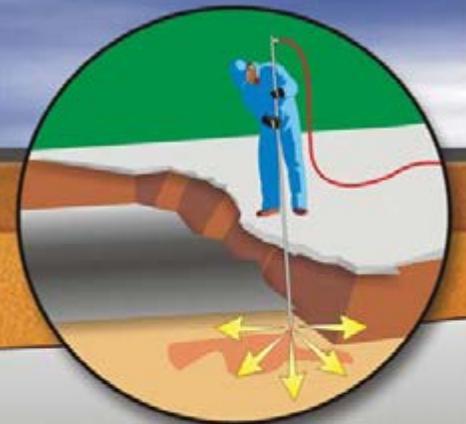
O BEIJU ELASTOMÉRICO vem em cartucho ou salsicha e é fácil de aplicar. Basta calafetar a interface e pronto. O contato com a água expande o BEIJU ELASTOMÉRICO mais de 300%, formando uma borracha totalmente estanque, impermeabilizando juntas frias e de concretagens, trincas em estruturas hidráulicas, contatos de tubulações etc. BEIJU ELASTOMÉRICO adere em todo tipo de superfície e tem previsão de vida superior à do concreto.

BEIJU

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-4702
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 04

Afundamento de tubulações?

Injete SOLOMAX e PRONTO.



**SOLOMAX modifica e consolida solos em 24 horas.
É rápido e eficiente.**

SOLOMAX

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-4702
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 05

estervinílico etc, não é 100% impermeável e, em se tratando de peças estruturais enterradas é temeroso apenas atribuir ao revestimento a proteção necessária aos fios de aço tensionados. A solução final é a proteção catódica com corrente galvânica, ou seja, utilizando-se anodos de sacrifício. A utilização de proteção catódica com corrente impressa apresenta uma relação custo-benefício pouco interessante em relação a com corrente galvânica, para estes casos.

A proteção catódica com corrente galvânica (PCCG)

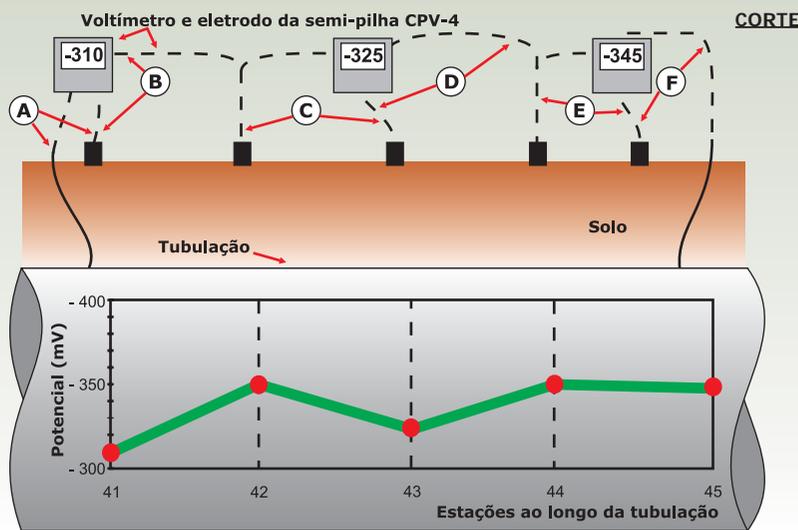
Proteger catodicamente uma estrutura de concreto armado-protendido enterrada, significa aplicar um potencial (voltagem) negativo nos fios de aço, de modo que toda área de sua superfície atue como catodo. É a única maneira de impedir que a superfície do aço funcione como anodo, além de, adicionalmente, repelir íons corrosivos negativos (por exemplo o Cl⁻) constantemente presentes e provenientes tanto do líquido que flui dentro da tubulação como do binômio solo/água subterrânea. Este mecanismo de tratamento, a PCCG, é particularmente interessante quando da existência de tubulações com presença de corrosão nos fios de aço protendidos. Este tipo de situação tem a ver com o total comprometimento do concreto, que apresenta-se totalmente contaminado com íons cloretos, sulfatos etc, de modo que a solução, assim ricamente “alimentada”, que corre em seus capilares, funciona como a água de coco para o sedento e ávido processo de corrosão do aço.

Levantando os potenciais de corrosão pelo próprio terreno

- A** meça o potencial solo-tubulação na estação 41, com a CPV-4.
- B** meça o potencial solo-solo, com a ajuda de um segundo eletrodo entre as estações 41 e 42. Adicione (algebricamente) a leitura obtida anteriormente (em 1). Com isso obten-se a leitura solo-tubulação para a estação 42.
- C** ande, com a semi-pilha, duas estações:
- D** meça o potencial solo-solo entre 42 e 43.
- E** ande, com a semi-pilha, duas estações: meça o potencial solo-solo entre 44 e 45.
- F** meça o potencial solo-tubulação na 45. Erros, por ventura encontrados, poderão ser distribuídos, ou, se pequenos, ignorados. Por exemplo poder-se-á fazer a seguinte planilha:

41	.....	- 310mV
42	..... -35	- 345mV
43	..... +20	- 325mV
44	..... -10	- 335mV
45	..... -10	- 345mV
		Erro = ±5mV

Observe que utilizam-se dois eletrodos a partir da estação 42. Dever-se-á manter distância entre os eletrodos, de modo a evitar erros devido a pequenas diferenças entre eles.

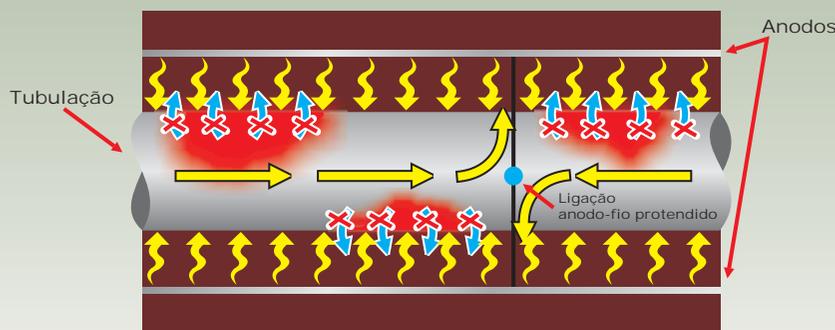


Um exemplo típico

A título de exemplo, apresentamos o caso de uma linha enterrada, em concreto protendido, com apenas 8 anos de vida, que recolhe efluentes domésticos e industriais para

uma estação de tratamento, tendo velocidade de fluxo máxima de 2,4m³/segundo. Cada tubo da linha possui comprimento de 5,5m e tem diâmetro interno de 2,00m. As juntas são do tipo macho-fêmea com borracha de vedação. Na última revisão feita foram constatados trechos com vazamentos, trincas e sinais de corrosão ao longo da linha, com rompimento dos fios protendidos.

Como funciona a proteção catódica em tubulações de concreto protendido (ou armado)



As áreas vermelhas, na tubulação de concreto, significam presença de corrosão nos fios protendidos. Repare a saída dos íons Fe⁺⁺ (setas azuis) ou seja, a desintegração do aço antes da proteção catódica.

O X em vermelho representa a eliminação da corrente de corrosão do aço nas áreas anódicas, devido a abundância da corrente de proteção (setas amarelas) promovida pelos anodos de sacrifício. As setas amarelas ao longo da tubulação “viajam” pelas armaduras e retornam aos anodos de sacrifício pela emenda (ponto azul).



Semi-pilha CPV-4 (voltímetro e eletrodo) aplicado no solo.

Os detalhes da investigação

Primeiramente foi investigados a resistividade do solo, a presença de correntes de corrosão vagabundas e, é claro, os potenciais de corrosão próximos as áreas sintomáticas, que totalizam 15% da linha. Desta análise, concluiu-se que 60% apresentava potenciais benéficos e 40% com corrosão. Durante as escavações, constatou-se que o terreno era bastante úmido, apesar de o nível máximo do lençol d'água ficar, em média, a cerca de 2,00m do fundo da linha. Como referência, pode-se afirmar que potenciais entre +50mV e -250mV, medidos com o CPV-4, são indicadores de um estado de passividade no aço, ou seja, ausência de corrosão. Por outro lado, potenciais mais negativos que -300mV poderão significar que os fios de protensão estão em processo de corrosão ou submetidos a perigosas correntes vagabundas. A medição dos potenciais nos trechos escavados foi feita posicionando-se o eletrodo da semi-pilha CPV-4

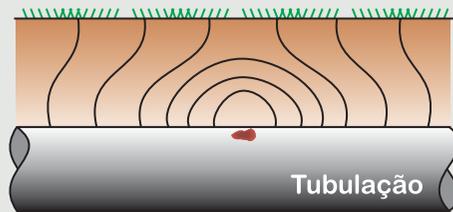


Diagrama do campo de potenciais circundantes de uma região anódica. Regiões anódicas são facilmente detectadas através da técnica do posicionamento do eletrodo CPV-4 diretamente no solo.

diretamente na superfície do concreto e o outro terminal preso no fio de aço. Em diversos outros trechos foram feitas medições dos potenciais pelo método tradicional usado em tubulações enterradas, sem a necessidade de escavação, posicionando-se o eletrodo diretamente no solo e o outro terminal ligado no fio de aço através de uma “janela” aberta na parte superior da tubulação. A boa prática exige a instalação de pequenas estações de testes que ajudam e simplificam muito o monitoramento (obrigatório) contra a corrosão da estrutura enterrada. No box abaixo há mais informações a respeito

destas estações.

A figura ao lado mostra o levantamento do estado de corrosão da tubulação, através dos potenciais obtidos com semi-pilha posicionada diretamente no solo. Está evidenciada a localização de uma área ativa (anódica) de corrosão. O box na página anterior dá uma canja e mostra os procedimentos para obter o diagrama dos potenciais dispostos na forma de isostáticas de corrosão. O posicionamento do eletrodo de referência

GLOSSÁRIO

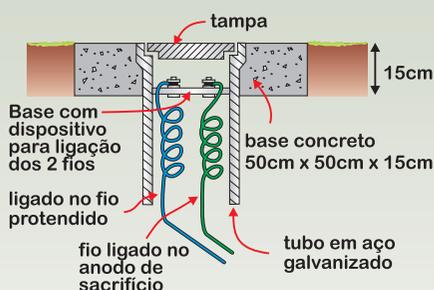
Corrente direta – fluxo de eletrons em apenas uma direção através de um determinado caminho elétrico.

Potencial de corrosão – o potencial (voltagem), com relação a uma semi-pilha, de uma superfície do aço, em estado de corrosão, submetido à uma solução (eletrólito) presente nos vazios e poros do concreto. É também chamado de potencial de circuito aberto.

Correntes de corrosão vagabundas – corrosão resultante de fluxos de corrente direta, provenientes de instalações vizinhas e que circulam pelo solo e/ou pelo concreto. A instalação de anodos de sacrifício contínuos e paralelos à tubulação neutralizam qualquer manifestação destas correntes.

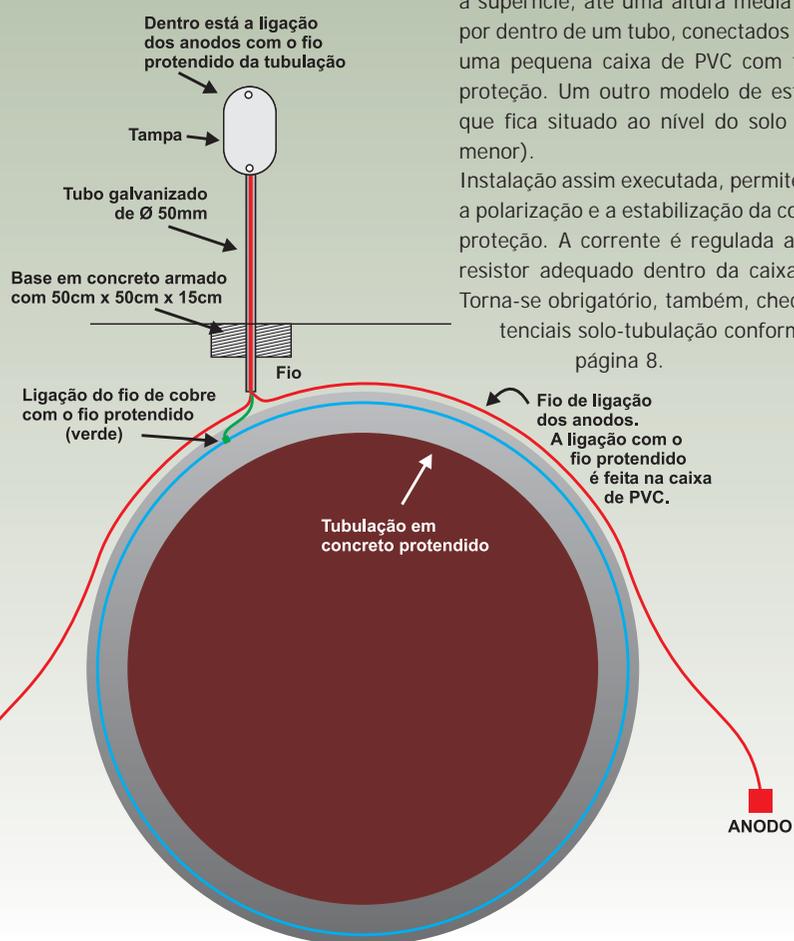
As estações permanentes para testes após a proteção catódica

Nas modernas linhas de tubulações de concreto protendido (e armado) já se projetam e executam, ao longo da linha, estações para observação da condição da corrosão do aço protendido. Na figura abaixo, apresentamos esquemas de instalação da estação, que deve ser erguida em intervalos regulares. A vantagem desta estação é que, uma vez feita não será mais necessário promover escavações e abrir “janelas” para fazer a ligação com os fios de aço de modo a se checar os potenciais. Note que se utiliza um fio de cobre perfeitamente isolado, fixado ao aço de protensão através de uma “solda” com pó de alumí-



Estação permanente em forma de ralo com 2 contatos apenas.

nio ou com um adesivo especial condutivo, fechando-se esta “janela” com argamassa polimérica. O outro fio (vermelho) é o de ligação com os anodos de sacrifício. A ligação dos anodos com o fio protendido é feita na caixa de PVC. Os fios de cobre isolados são levados



à superfície, até uma altura média de 1,5m, por dentro de um tubo, conectados dentro de uma pequena caixa de PVC com tampa de proteção. Um outro modelo de estação é o que fica situado ao nível do solo (desenho menor).

Instalação assim executada, permite adequar a polarização e a estabilização da corrente de proteção. A corrente é regulada através de resistor adequado dentro da caixa de PVC. Torna-se obrigatório, também, checar os potenciais solo-tubulação conforme box da página 8.



Outro trecho sendo reforçado com barras de fibra de carbono inseridas em sulcos preenchidos com epóxi.

deverá ser feito no solo, exatamente sobre a tubulação enterrada. Em solos muito secos, poder-se-á borrifar água para umedecê-lo, muito embora não seja muito aconselhado. Nos trechos onde a tubulação estiver ao ar, naturalmente, a leitura dos potenciais será feita sobre a superfície do concreto.

Reforçando a estrutura

As conseqüências do estado de corrosão têm que ser tratadas. Nas regiões onde ocorreram trincas com ou sem rompimento dos fios de protensão foram feitos serviços de reforço estrutural utilizando-se a técnica da fibra de carbono, tanto na forma de barra quanto

na de manta. Esta tecnologia está sendo empregada no mundo inteiro, exatamente pela rapidez que a caracteriza. As trincas, em situações horizontais, foram monolitizadas previamente com METACRILATO e nas situações nas paredes verticais e no fundo da tubulação foi injetado epóxi de baixa e alta viscosidade, dependendo da abertura da trinca. Durante a aplicação do reforço foi feito o tensionamento compressivo das seções da tubulação.



Detalhe das barras utilizadas de 10mm de diâmetro.



A abertura do sulco com serra de lâminas paralelas preenchidas, posteriormente, com epóxi aplicado com cartucho.



O reforço estrutural com barras de fibra de carbono, anterior à instalação dos anodos de sacrifício.

Instalando a proteção catódica

Cada um dos tubos de 5,5m, que compõem a linha, estava isolado eletricamente dos demais pela junta macho-fêmea e pela borracha de vedação. Desta forma, o di-

mensionamento da proteção catódica foi feito considerando-se apenas cada tubo. A área das superfícies dos fios protendidos existentes em cada tubo que necessitavam ser protegidos contra a corrosão totalizou cerca de 30m². A densidade de cor-

GLOSSÁRIO

Densidade de corrente – a corrente que flui de ou para uma unidade de área de uma superfície do aço.

MEDIDOR DA RESISTIVIDADE DO SOLO SR-1



- Equipado com sistema Wenner de 4 pinos.
- Variação de 0,01OHm a 1,1 Megaohm.
- Bateria com longa duração.
- Fácil de operar e ler.
- Chave resolução para leitura precisa.
- Leitura digital.
- Embalagem super resistente.

Peça hoje mesmo seu SR-1

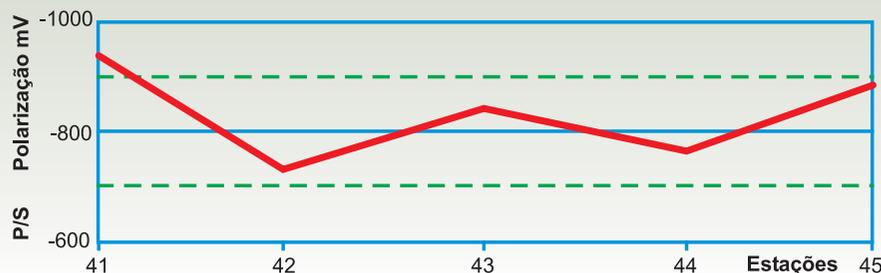
**TR
TECHNOLOGIES**

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 11

Checando a proteção catódica

Após a instalação da proteção catódica, ou seja, após a polarização do aço, poder-se-á aproveitar a existência das estações de teste para verificar se o aço protendido da tubulação permanece protegido com o correr dos anos. É universalmente aceito que uma estrutura estará protegida catodicamente se seu potencial ficar situado em torno de -850mV em relação ao eletrodo de cobre-sulfato de cobre da semi-pilha CPV-4, posicionado no solo sobre a tubulação. Toda a estrutura estará protegida, claro, se este critério for ver-

dadeiro em cada ponto da superfície. O segundo critério estabelecido pela NACE (National Association Corrosion Engineers) estabelece a diferença de, pelo menos, 300mV entre o potencial original e o após a proteção catódica. O outro critério estabelecido pela NACE é o da queda da polarização (100mV). De um modo geral, a tubulação estará protegida se os potenciais obtidos ao longo do seu comprimento produzirem uma curva (potenciais X distância ao longo da tubulação) que esteja sempre acima de -700mV .



O maçarico derrete o anodo, descobrindo o miolo de aço, o qual é soldado no novo rolo de anodo.

A ligação do anodo de sacrifício com o fio protendido.



Posicionamento dos anodos de sacrifício e sua ligação aos fios protendidos.

O fio de cobre isolado sendo conectado ao anodo de sacrifício. Repare que primeiramente foi utilizado um bracelete de aço fixado com alicate de pressão. A seguir, é feito o isolamento com fita isolante polimerizável. A continuidade elétrica do anodo é mantida por seu miolo com fio de aço.



Medindo o potencial e a corrente entre o anodo de sacrifício e o fio protendido. A linha do anodo foi posteriormente coberta com material condutivo.

GLOSSÁRIO

Polarização – é a mudança do potencial de corrosão devido a passagem de corrente originada pela aplicação do anodo de sacrifício.

rente estabelecida foi de $1\text{mA}/\text{m}^2$, naturalmente com uma intensidade de corrente de 30mA . Foram utilizados anodos galvânicos, marca Terra-Anodo G. Dependendo da resistividade do solo, em cada trecho tratado, foram utilizados diferentes tipos de anodos de sacrifício. A previsão da vida útil, em função da corrente atuante, é de 25 anos.

Fax consulta nº 07



RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Marcelo Schultz é engenheiro elétrico, especialista em corrosão.

“Barragem em Brasília, com vazamentos, é tratada com injeções de super espuma e super gel.”

Próxima Edição

RECUPERAR



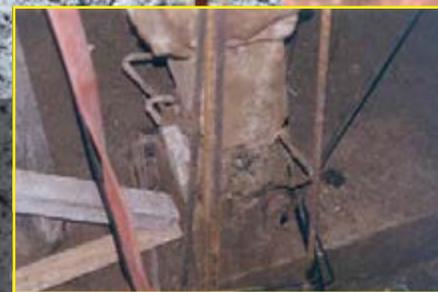
Terra-Anodo G.

Como interromper a corrosão em estacas enterradas de concreto armado?

Evandro Salles Pinto

Estacas enterradas de concreto armado/protendido também sofrem com a corrosão. Pequeno anodo de sacrifício enterrado junto à estaca, garante a proteção necessária, tanto em obras novas quanto antigas.

Estruturas aéreas de concreto armado/protendido já dispõem de sistemas que, efetivamente, controlam processos de corrosão. São eles a pastilha Z, a tela galvânica G, o zinco termo projetado (ZTP), a manta aderida de zinco (MAZ) e o zinco líquido puro (ZLP). Todos bastante efetivos no controle da corrosão do aço, seja ele composto por armaduras ou cabos protendidos. Estruturas enterradas, no entanto, têm uma forma toda particular de contraírem corrosão, exatamente pelo contato com solos e água freática contaminada com dióxido de carbono, cloretos, sulfatos, nitratos etc. Mas, à medida que varia o nível do lençol freático, o oxigênio se faz presente, viabilizando processos de corrosão nas armaduras e cabos de protensão, de-



Ruína de estacas e pilares devido a corrosividade do solo.



O melhor
amigo do homem
com o melhor amigo
das estacas
enterradas



Proteção eficiente em qualquer estrutura enterrada?

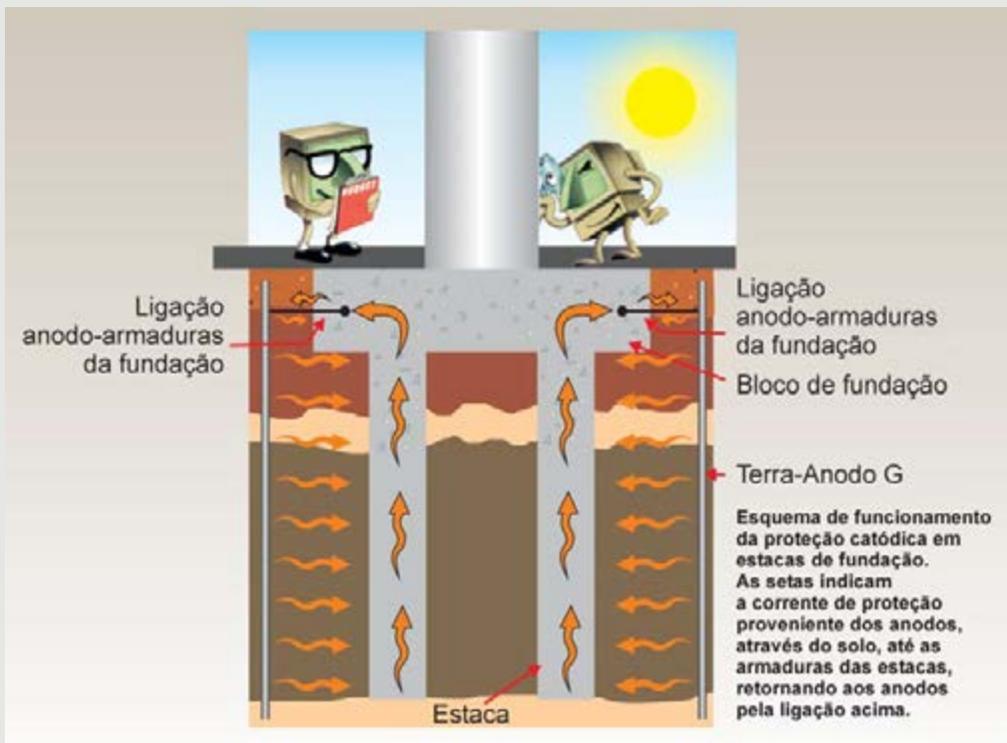
Terra-Anodo G (TAG)

Age galvanicamente com armaduras, fios e cabos de protensão, impedindo-os de corroer por 20 ou 30 anos, seja em solos de baixa ou de alta resistividade. Os anodos TAG são fornecidos em diversos modelos, para todo tipo de solo. Atua em cintas, blocos e sapatas ou em estacas enterradas de qualquer profundidade, em qualquer tipo de fundação. Instalação extremamente fácil e rápida, sem necessidade de escavação. É necessário apenas um contato com a estrutura a ser protegida. Não arrisque mais sua estrutura. Proteja sua fundação com seu melhor amigo.



TERRA-ANODO G

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 08



Conjunto de estacas em ruína.



vido a criação de ciclos de saturação e secagem no interior do concreto e, naturalmente, em contato com o aço das estacas enterradas. É indiscutível a eficiência da proteção catódica na região enterrada das estacas, particularmente em solos com resistividade baixa que apresentam contaminação por sais. Partindo deste pressuposto, foram realizados testes no Instituto de Patologias da Construção, com o objetivo de se analisar, agora, a altura que poderá chegar a corrente da proteção catódica na região desenterrada da estaca. Para tanto, utilizou-se uma pequena amostra do Terra-anodo G.

Como funciona este anodo?

Com objetivo de analisar o funcionamento deste anodo de sacrifício, feito com metal anódico específico para aplicações em estacas de estruturas enterradas submetidas a ciclos de saturação e secagem, de modo a se estabelecer até onde irá a altura da proteção contra a corrosão, executaram-se ensaios onde peças de concreto armado, prismáticas com 15cm x 15cm x 150cm, simulando estacas de fundação sem qualquer contaminação e também contaminadas. Ao concreto contaminado foi adicionado cloreto de cálcio (CaCl_2) na água de amassamento da mistura. O solo, saturado,

também foi contaminado com 3,5% em peso de sal comum (NaCl). Todos os corpos de prova ficaram parcialmente enterrados no solo saturado e contaminado (figura 1). Estes testes tiveram um período de 3 meses. Cada uma das barras foi monitorada, de modo a se obter seu potencial e a densidade de corrente respectivas. Para tanto, por questões de precisão, fixou-se pequenas semi-pilhas de titânio ativado (TA) em cada uma das barras. Mais uma vez ressaltamos que o objetivo do teste foi conhecer a altura em que as barras estariam protegidas pela proteção catódica imposta com o **terra-anodo G** também enterrado.

Resultados

Todos os testes foram realizados com semi-pilha de calomelano saturado (CS). Antes da aplicação da proteção catódica, ou seja, antes da ligação do **terra-anodo G** às barras, os corpos de prova não contaminados apresentavam potenciais de corrosão livre em torno de -220mV e os corpos de prova de concreto contaminados com 3% de clo-

PASTILHA Z como cocadas?



SIM.

Principalmente em estruturas hidráulicas, "cocadas" de PASTILHAS Z é a solução, pois uniformizam a distância forma-armadura e promovem toda aquela proteção que o aço deseja contra a corrosão durante pelo menos 15 anos. Cocada boa é PASTILHA Z.

PASTILHA Z

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 09

retos apresentavam potenciais de corrosão livre em torno de -390mV .

Durante 3 meses, o **terra-anodo G** permaneceu ligado nos corpos de prova, polarizando (catódicamente) as barras que compunham as estacas. Em todos os testes, quer dizer, com corpos de prova contaminados ou não, as barras enterradas (n° 1) apresentaram valores próximos ao do **terra-ano-**

GLOSSÁRIO

Depolarização – a eliminação ou redução da polarização por meios físicos ou mecânicos. A depolarização resulta no aumento da corrosão. Ocorre com a remoção do fluxo de corrente de proteção aplicado.

Densidade de corrente – corrente dividida pela área da superfície do metal. São usados os termos densidade de corrente anódica e catódica, significando a corrente dividida pelas áreas do anodo e do catodo, respectivamente.

Polarização – é a mudança do potencial de circuito aberto da armadura (em seu estado original de corrosão) pela introdução de uma corrente através da interface concreto/armadura.

Cloretos – denominação dos sais do ácido clorídrico (HCl). Os cloretos mais importantes são o cloreto de sódio (NaCl), parte principal do sal marinho, o sal gema (NaCl) extraído do solo, o cloreto de cálcio (CaCl_2), o cloreto de potássio (KCl) e cloreto de cal [$\text{CaCl}(\text{ClO})$], também chamado de cal clorada, pó branco, obtido da reação do cloro com o hidróxido de cálcio.

Semi-pilha – metal padronizado imerso em um eletrólito apropriado ou adequado, destinado a medir o potencial (voltagem) do aço.

Polarização catódica – é a mudança do potencial de uma interface em direção a valores mais negativos, devido ao fluxo de corrente atuante.

Potencial de corrosão livre – potencial de corrosão na ausência de imposição de fluxo de corrente elétrica para a superfície do aço. Também chamado de potencial de circuito aberto.

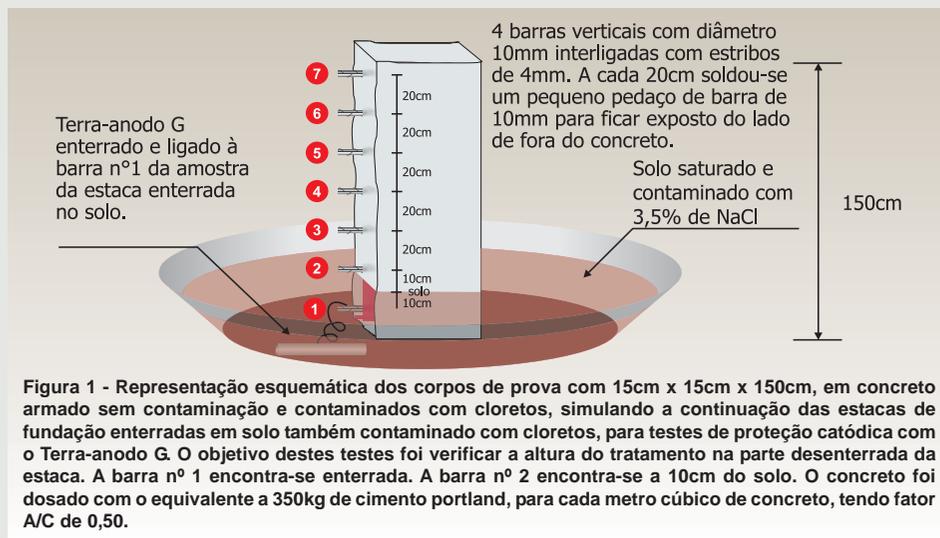


Figura 1 - Representação esquemática dos corpos de prova com $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 150\text{cm}$, em concreto armado sem contaminação e contaminados com cloretos, simulando a continuação das estacas de fundação enterradas em solo também contaminado com cloretos, para testes de proteção catódica com o Terra-anodo G. O objetivo destes testes foi verificar a altura do tratamento na parte desenterrada da estaca. A barra n° 1 encontra-se enterrada. A barra n° 2 encontra-se a 10cm do solo. O concreto foi dosado com o equivalente a 350kg de cimento portland, para cada metro cúbico de concreto, tendo fator A/C de 0,50.

do G (-1010mV), o que já era esperado. Veja a figura 2. As barras de n° 2, 10cm acima do nível do solo, apresentaram valores não tão negativos em torno de -880mV para a situação contaminado e -800mV para a não contaminado. Como já se imaginava, os potenciais das barras mais altas evidenciaram voltagens decrescentes. Contudo, para todos os testes realizados, contaminados ou não, ainda assim, ocorreram valores mais negativos que as medidas originais, antes da proteção catódica.

Paralelamente, mediu-se a corrente (densidade) circulante em cada uma das barras protegidas pelo **terra-anodo G**, verificando-se que, para uma determinada altura, os corpos de prova com concreto contaminado apresentaram valores de corrente

bem superiores aos não contaminados. Veja a figura 3. A corrente total fornecida pelo **terra-anodo G** nos corpos de prova com concreto contaminado girou em torno de 35mA/m^2 enquanto que nos corpos de prova com concreto sem contaminação ficou entre 3mA/m^2 . Apesar das diferenças encontradas nas densidades de corrente entre concreto sem e com contaminação, a distribuição da corrente, veja figura 4, foi essencialmente a mesma para ambos os casos, quer dizer, cada uma das barras recebeu porcentagens proporcionais da corrente total enviada pelo **terra-anodo G**, considerando-se uma determinada altura. No resumo da ópera, as barras 2 e 3, em ambos os casos, consumiram a maior parte da corrente enviada para fora do solo

Só existe uma maneira

de interromper a

Reatividade
Álcali-Sílica...

RENEW/LIFETIME

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 10



...em estruturas existentes

RENEW[®]

LITHIUM FÓRMULA

...em estruturas a serem executadas

LIFETIME[®]

LITHIUM FÓRMULA

pelo anodo de sacrifício. Menos de 15% da corrente total de proteção alcançou a barra acima de 40cm. Nas barras mais altas do concreto contaminado, obtiveram-se alguns valores negativos de corrente, ou seja, corrente anódica, evidenciando o desenvolvimento de correntes de corrosão.

Testando a proteção catódica

O teste para a verificação do comportamento da proteção catódica, utilizando-se a corrente galvânica do **Terra-anodo G**, foi feito depolarizando-se o sistema, ou seja, desligando-se o anodo de sacrifício dos corpos de prova e medindo-se a polarização residual em três verificações. A figura 5 evidencia a distribuição dos potenciais das barras, considerando-se as diversas alturas em

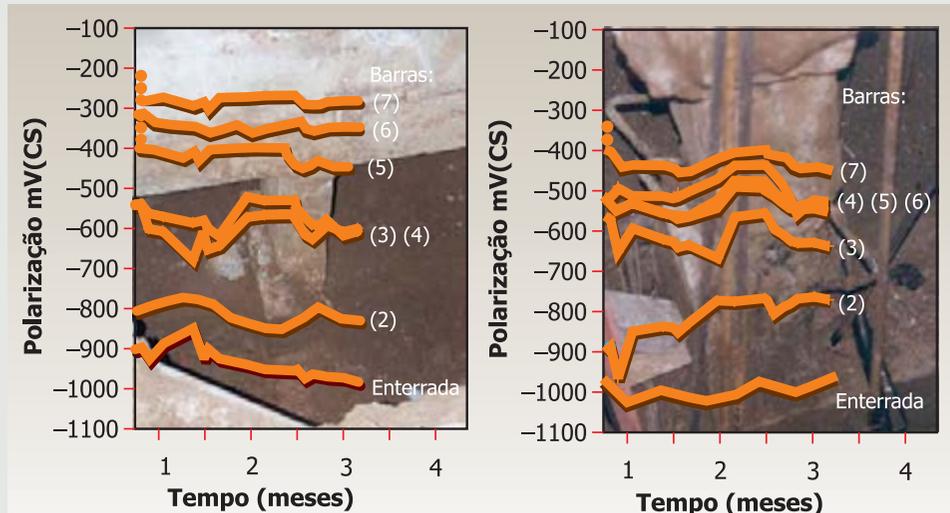


Figura 2 - Polarização (potencial) das barras versus tempo para as diversas alturas no teste com concreto não contaminado (a) e contaminado (b). Repare que a polarização imposta pelo Terra-Anodo G alterou os potenciais das armaduras para valores mais negativos, diminuindo sua influência com a altura.

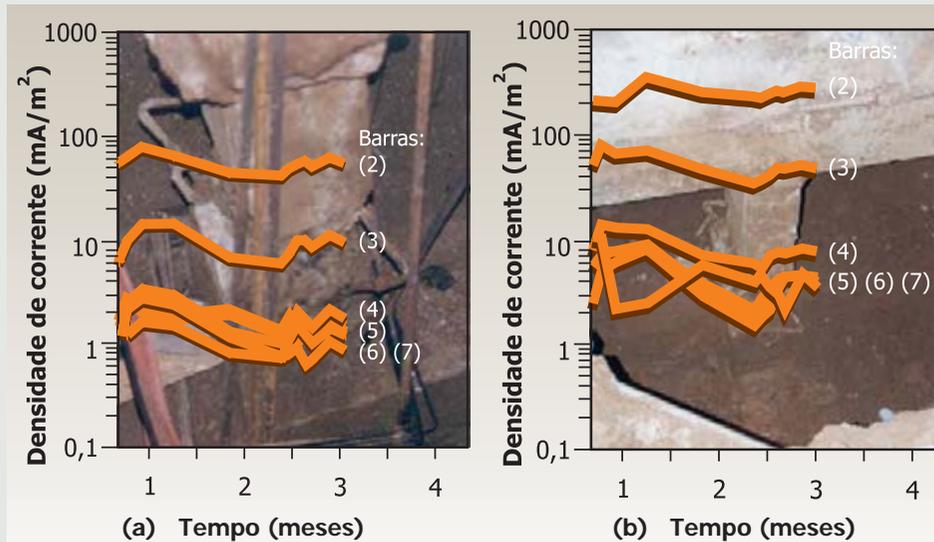


Figura 3 - Densidade de corrente circulante pelas barras, em função do tempo, no concreto livre de contaminação (a) e contaminado (b).

A queda de 4 horas para as barras situadas acima de 60cm foi menor que 100mV. No geral, pode-se ver que a queda após 24 horas está bastante semelhante àquela encontrada a apenas 4 horas, deixando claro que a diferença potenciais foi quase insignificante.

As armaduras no concreto contaminado com cloretos evidenciaram quedas de potencial menores do que no concreto ausente de contaminação, isto se considerarmos as mesmas alturas. Verificando o comportamento das barras durante a depolarização, através dos gráficos de polarização versus densidade de corrente (figura 7), observa-se que as armaduras de ambos os concretos seguem o padrão de uma típica curva de polarização (catódica). As duas figuras sugerem que a variação dos potenciais obtida durante a depolarização é rigidamente go-

que estavam, após o período de 3 meses. A primeira verificação foi feita imediatamente após o desligamento do **terra-anodo G** e é chamada de potencial “instant off” (E_{off}). A segunda é feita quatro horas após (E_{off} 4h) e a terceira após 24 horas (E_{off} 24h). O critério comumente aceito no meio internacional é o da “queda mínima dos 100mV”. A diferença E_{off} 4h - E_{off} , em cada barra, representa a queda de 4 horas, enquanto a diferença E_{off} 24h - E_{off} , a de 24 horas. A figura 5 retrata uma queda de 4 horas muito alta nas barras inferiores do concreto sem contaminação, passando de cerca de -1000mV no E_{off} para cerca de -500mV quatro horas após (E_{off} 4h), evidenciando uma queda (4 horas) de 500mV.

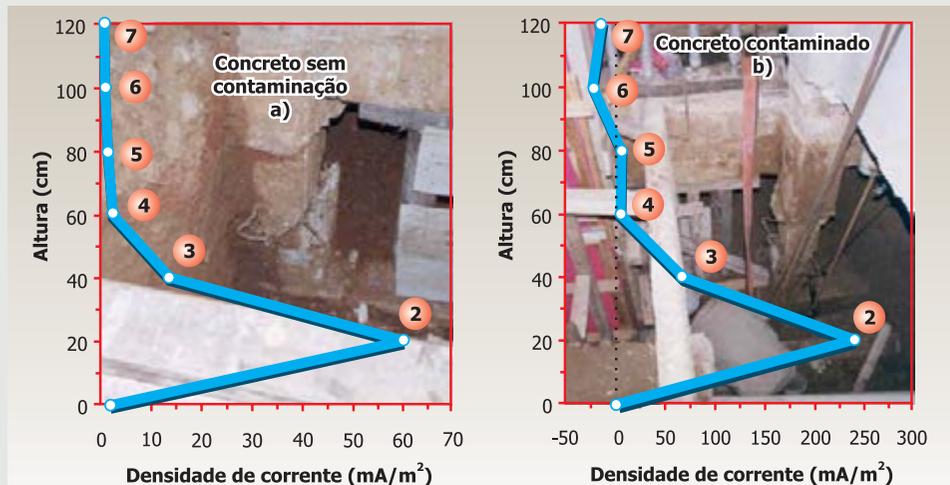


Figura 4 - A distribuição de corrente de proteção no concreto sem, e com contaminação, em função da altura das barras. As barras imersas praticamente não receberam corrente, nesta situação.

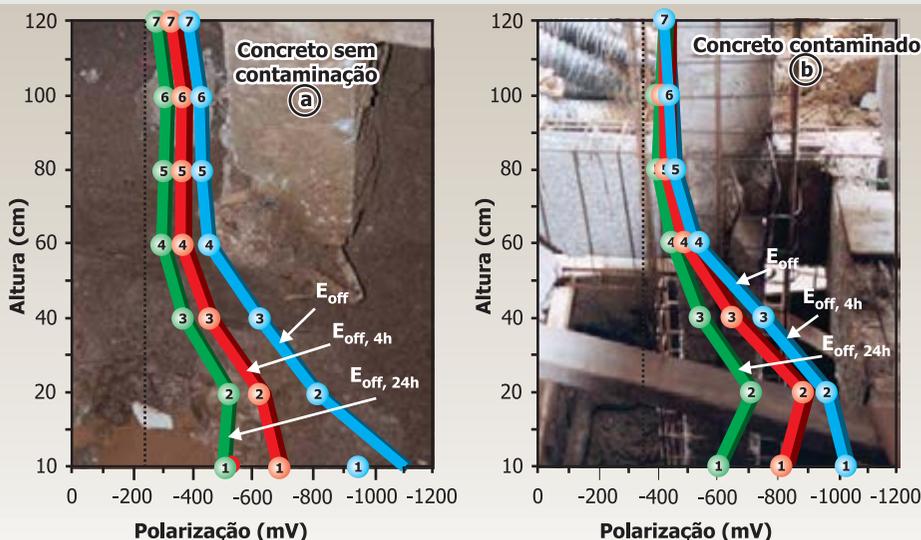


Figura 5 - Comportamento dos potenciais nas armaduras com concreto não contaminado (a) e contaminado (b) durante os testes de depolarização. O comportamento dos potenciais obtidos no exato instante do desligamento do anodo de sacrifício (E_{off}) apresenta-se com linha azul. Após 4 horas desligado, com linha vermelha e após 24 horas desligado, com linha verde.



Torna-se obrigatório o uso de anodos de sacrifício em solos industriais para proteção das estacas e blocos de fundação.

vernada pela mudança na densidade de corrente (catódica) que cada barra recebia da ligação galvânica, após o desligamento do Terra-anodo G. Quer dizer, as correntes resultantes da troca galvânica, anterior ao desligamento, mantinham uma polarização catódica nas barras, sugerindo que cada barra tinha potencial diferenciado, após o desligamento. Ou seja, as correntes de proteção impostas durante a P.C. mantinham polarizações catódicas residuais nas barras.

Resultados

A proteção catódica aplicada ao concreto é, normalmente, considerada efetiva se for

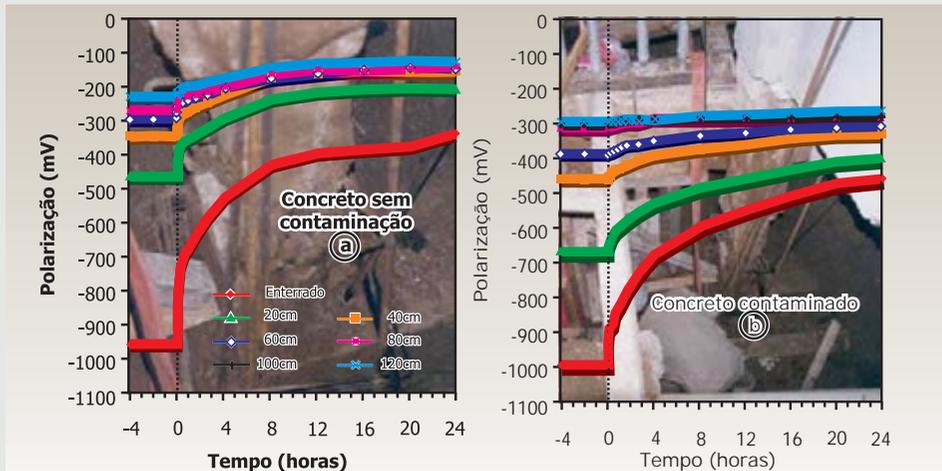
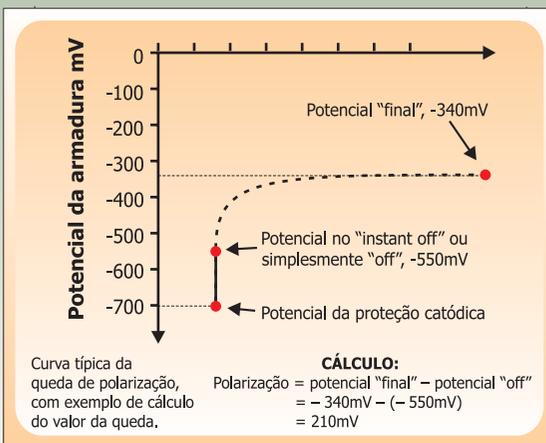


Figura 6 - Teste de depolarização feito no concreto armado com e sem contaminação, 3 meses após a aplicação da PC. Potencial e densidade de corrente mudam com o tempo e com as diversas alturas em que as barras se encontram.

O critério da queda da polarização

A efetividade de um sistema de proteção catódica é verificada por testes que se inserem dentro de um contexto denominado "critério". Dos três critérios ordenados pela NACE (National Association of Corrosion Engineers) através do seu Standard Recommended Practice RPO 290-90, o mais utilizado é o dos 100mV. Segundo este critério, a região da armadura a ser protegida deve ser polarizada com um mínimo de 100mV. Quando se usa o método da queda da polarização, sua determinação é obtida interrompendo-se o envio da corrente de proteção, fornecida pelo anodo de sacrifício, e o imediato monitoramento do potencial da armadura com uma semi-pilha tipo CPV-4. Quando a corrente é interrompida, imediatamente a voltagem cai. Esta mudança brusca é provocada pela eliminação da chamada "queda IR" e não pode



ser incluída na medida da polarização. Ou seja, IR é aquele incremento de voltagem "desnecessário". O potencial da armadura imediatamente após aquela mudança brusca, deverá ser usado como leitura inicial para a medida da polarização. A queda da polarização é calculada subtraindo-se o potencial "off" do "final". O critério deve ser encontrado no período de 4 ou 24 horas.

* Lembre-se da lei de OHm, $E = IR$. Quer dizer, a corrente que circula vezes a resistividade que o concreto ou solo oferece é igual a um potencial. Repare também que, pela lei, a corrente é inversamente proporcional à resistividade do meio.

Os contaminantes existentes no solo

A deterioração, por agentes externos, das estruturas de concreto armado enterradas, é um importante aspecto pertinente a durabilidade, que nenhuma atenção recebeu no passado, e pouca no presente momento. Tubulações enterradas e peças de fundação são, especificamente, os elementos a que nos referimos. O nível de contaminação ambiental em canais, lagoas, rios e no próprio solo motivado pela acidez da chuva, responde por tal preocupação. Com base em inúmeros casos de ruína destes elementos, o American Concrete Institute publicou no ACI-318, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*, os efeitos da corrosividade do solo, que apresentamos ao lado.

* Referência: M. Romanoff, *Underground Corrosion*.

** Solos altamente alcalinos, no entanto, são corrosivos.

	Concentração (em ppm)	Grau de corrosividade
Cloretos	> 5.000	severa
	1.500 - 5.000	considerável
	500 - 1.500	corrosivo
Sulfatos	< 500	início
	> 10.000	severo
	1.500 - 10.000	considerável
pH*	150 - 1.500	positivo
	0 - 150	insignificante
	< 5,5	severo
	5,5 - 6,5	moderado
	6,5 - 7,5	neutro
	> 7,5	insignificante (a calmo); **

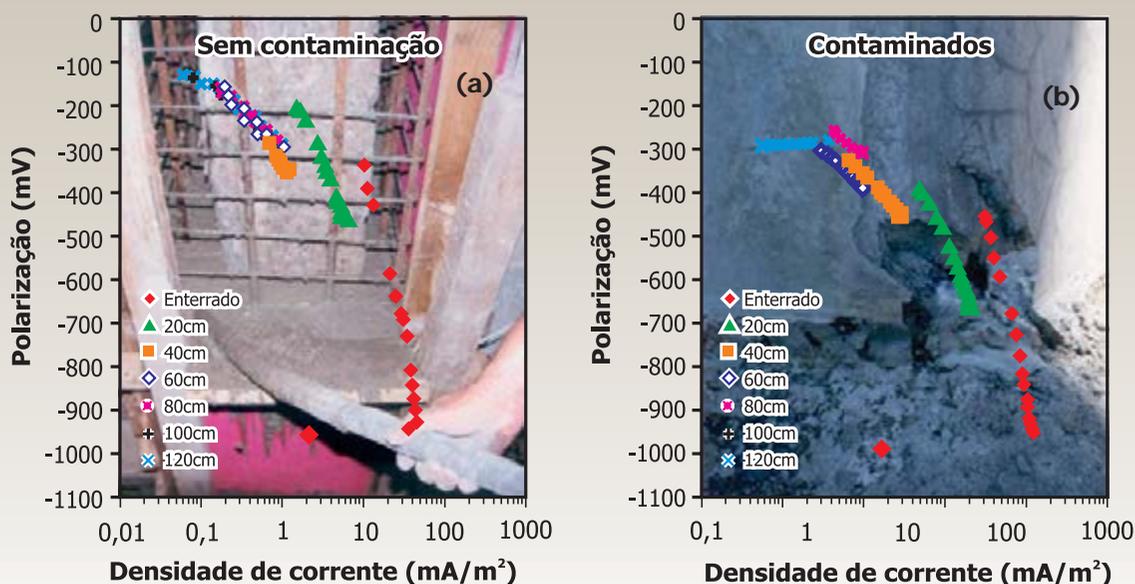


Figura 7 - Relação entre polarização e densidade de corrente durante o teste de depolarização, após 3 meses de proteção catódica com o Sub-Anodo G. a) Concreto não contaminado. b) Concreto com 3% de cloretos em relação ao peso de cimento empregado. Os símbolos maiores evidenciam valores medidos antes do desligamento do Terra-Anodo G. Observa-se que as medidas obtidas nas diferentes barras tendem a coincidir ou se sobreporem, seguindo o modelo típico de uma curva de polarização catódica (RECUPERAR nº 47, pag 28).

obtido o critério da queda mínima de 100mV, ou seja, se tivermos uma queda de, pelo menos 100mV durante um período de 4 ou 24 horas. Na verdade, este critério é tanto aplicado em serviços de proteção catódica, isto é, na aplicação de correntes catódicas para interromper completamente a velocidade da corrosão em estruturas com este problema, quanto na prevenção catódica, quer dizer, na aplicação de corrente catódica para armaduras passivas, mas que tenham tendência a ficar com seu concreto contaminado em ambientes propícios, de modo a impedir tal fenômeno.

Com os testes realizados, verificou-se que o

Terra-anodo G atua eficientemente nas armaduras de pilares e estacas enterradas. Mas ainda, a proteção catódica oferecida pelo **Terra-anodo G** é também eficiente para as armaduras

Fax consulta nº 12

RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Evandro Salles Pinto é engenheiro metalúrgico especialista em corrosão.
- Instituto de Patologias da Construção Relatório 041/T2/2002 de novembro de 2002.
- K.W.J. Treadaway, Aspects of the electrochemistry of steel in concrete. *Nature* 297.
- H. Arup, The Mechanisms of the Protection of Steel by Concrete, in *Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction*.
- J.R. Davis, Ed., *Corrosion of Steel in Soils*, ASM Specialty Handbook.

Ligas Metálicas. Você tem idéia do que está comprando?

Interior de uma aciária
(onde se produz o aço).

Hermínia Gonçalves Brandão

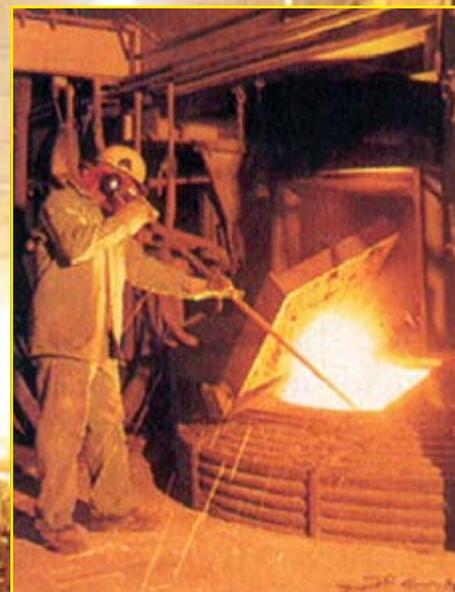
Aprenda a conhecer as ligas que têm força física, são baratas, mas tão frágeis contra a corrosão como um picolé que derrete.

A melhor forma de evitar a corrosão é compatibilizar o ambiente com a liga metálica a ser empregada, seja aço carbono, aço de baixa liga, aço inox, liga de alumínio etc. Esta compatibilidade, na verdade, inclui as condições químicas do ambiente, as características físicas da estrutura ou equipamento e os pouco difundidos métodos abrigatórios de prevenção da corrosão. As condições de uma edificação ou de uma planta industrial devem ser, respectivamente, otimizadas para a melhor performance e máxima produção com o mínimo de recuperação e interrupção. Os parâmetros químicos que afe-

tam a corrosão, como o conhecimento do ambiente, são facilmente levantados e, uma vez associados ao dimensionamento das condições físicas da estrutura, como tensões mecânicas, desgaste etc, que também aumentam os efeitos corrosivos, trarão a desejada e obrigatória compatibilidade para as estruturas metálicas e de concreto armado.

Características da corrosão do aço e de suas ligas

Todos os materiais, incluindo os metais e suas ligas, plásticos e cerâmicas são sus-



GLOSSÁRIO

Força eletromotriz – o mesmo que potencial elétrico ou voltagem.

Série das forças eletromotrizes – lista de metais montada de acordo com seu potencial padrão, posicionando-se como positivos os metais “nobres”, como o ouro e, como negativos, os metais “ativos”, como zinco.

Série galvânica – lista de metais e ligas metálicas montada de acordo com seus potenciais de corrosão relativos a um determinado ambiente, por exemplo, a água do mar.

ceptíveis de corrosão ou de alguma forma de degradação. Nenhum material, por mais simples e barato que seja, um exemplo é o aço carbono, deve ser especificado de forma genérica. Se fosse assim, não haveria razão para existir essa formidável quantidade/diversidade de outros metais. Ao ser usado em ambientes corrosivos, como em contato com a água salgada, à beira-mar ou em ambientes industriais, seja compondo concreto armado/protendido ou, simplesmente estruturas metálicas, necessitar-se-á de uma forma de proteção eficiente contra a corrosão. Ressaltamos eficiente porque há inúmeros sistemas ditos contra a corrosão mas que, na verdade, são pouco ou nada eficazes. Isto pode ser comprovado com o mais simples equipamento de monitoramento, o qual irá atestar o controle da corrosão. Estes sistemas de proteção caem, invariavelmente, nas tintas ou revestimentos, que se esforçam para fazer barreira à ação do eletrólito inimigo contra a superfície do aço, ou seja, separando as fases reagentes (eletrólito e a superfície do aço) e

na tecnologia da proteção catódica, que reduz ou elimina a reatividade destas fases. Ambos os sistemas podem atuar também juntos. Já percebemos que, na verdade, é melhor e mais barato conhecer os diversos tipos de ligas de aço que são oferecidos no mercado, assim como suas características de corrosão, já que apresentam diferenças de comportamento para esta patologia.

Os aços carbono

O carbono é adicionado à liga de modo a torná-la forte. Apenas os chamados aços doces ou de baixo carbono, com 0,08 a 0,28% de carbono (C) são considerados resistentes à corrosão. De um modo geral, estas ligas ferrosas são bem mais resistentes à corrosão que os aços de médio carbono (0,28 a 0,55% C) e os de alto carbono (0,50 a 1% C). Os aços carbono recebem em sua composição cerca de 2% de outros metais, com o intuito de otimizar suas propriedades mecânicas. Com níveis tão al-

O forno elétrico. Conduzindo o aço fundente.



A foto maior é a de um tubo de grande diâmetro, em aço carbono, situado próximo à presença de fluidos ricos em cloretos, em uma indústria. O resultado são fissuras, diagnosticado como corrosão sob tensão, de acordo com a foto menor, uma seção em corte do tubo. É bastante comum o uso de metais inespecíficos a ambientes impróprios.

tos de resistência física e tremendamente barato, o aço carbono é um prato cheio para os calculistas da construção civil e industrial. Ocorre que sua resistência eletroquímica é extremamente baixa. Por isso, naturalmente necessitam de proteção adicional quando em ambientes corrosivos. Na verdade, mesmo em ambientes considerados não corrosivos, como no interior do país, longe de indústrias, em ambiente rural, ha-

GLOSSÁRIO

Aço – o ferro é o componente principal do aço. Quando o carbono, um não metal, é adicionado ao ferro em quantidades inferiores a 2%, o resultado é uma liga chamada aço.

Metais não ferrosos – Termo errôneo, significando que “não contém metal ferroso”. Isto não é verdade, pois mesmo as ligas não ferrosas contém alguma quantidade de ferro que funciona como um agente de ligação. Metais não ferrosos são alumínio, níquel, cobalto, cobre, cromo, molibidênio, zinco, magnésio, zircônio, titânio e as superligas a base de metais resistentes ao calor, como o níquel e cobalto.

Metais puros – outro termo enganoso. Todo metal contém alguma impureza, que varia de pequenos fragmentos de poeira dos chamados elementos vagabundos. Por exemplo, o fósforo e o enxofre são elementos vagabundos no aço. A pureza, no entanto, pode chegar a 99,9%.



Metal misterioso?

Ninguém tem pista...

Use o identificador de metais LAB 1899.

Em alguns segundos, sem necessidade de remoção da peça, você identifica ligas de aço, pinturas metálicas, ouro, chumbo, magnésio, prata, zinco, enxofre, aços inoxidáveis, ligas de alumínio, latão, bronze etc. O identificador LAB 1899 é aprovado pela ASTM (ASTM E1476-95) e também faz teste de passivação.

Não fique achando. Tenha certeza.

**The Metal
Detectives**

LAB 1899

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 14



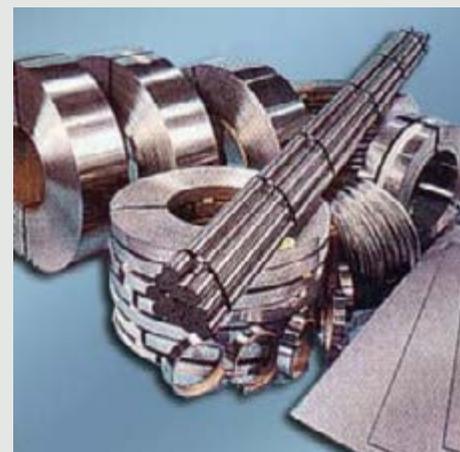
A foto acima é uma microfotografia eletrônica da varredura de uma seção reta de uma peça em aço inóx 304 com fragilização devido a tensões térmicas causadas pela presença de zinco em sua composição, quando em operação a 350°C. Um aço inóx inadequado.

vendo água e oxigênio, condição básica para o início do processo, ter-se-á corrosão, mas a velocidades insignificantes. É isto que engana as pessoas. Mesmo assim, em regiões tão “puras”, havendo considerável umidade relativa, ter-se-á incrementos na velocidade. Estruturas de concreto armado ou metálicas, que estocam ou con-

duzem água potável, como reservatórios e tubulações sofrem, invariavelmente, de processos cíclicos de corrosão. Estas estruturas apresentam pequena velocidade de corrosão quando totalmente cheias. No entanto, à medida que alternam entre submersa e parcialmente cheias (ou vazias), incrementa-se substancialmente aquele parâmetro. Um detalhe importante, neste tipo de estrutura, que não pode ser esquecido, tem a ver com a qualidade da água potável, especificamente a quantidade bastante variada de cloretos (na forma de cloreto de cal ou cal clorada) que são introduzidos para obtenção da potabilidade. A corrosão reduz, de forma crescente, a capacidade de carga do aço pela perda de sua seção, seja na forma uniforme ou por pites. Esta última forma de corrosão, além de provocar a redução da seção do aço, tem a particularidade de levar a tiracolo “detonadores de tensões” que, literalmente, iniciam trincas ou fissuras.

O aço carbono torna-se passivo quando em ambiente alcalino, seja imerso num concreto ou em uma solução de pH alto. No entanto, não se pode esquecer que o concreto, por ser um pseudo-sólido, é facilmente contaminado, estabelecendo micro regiões com diferentes PHs que, apenas por isso, potencializa pilhas de corrosão. Mesmo a utilização de espessas camadas de recobrimento nas estruturas de concreto armado, com o intuito de “proteção definitiva” é errônea, pois apenas atrasa a “frente corrosiva”, seja ela impulsionada pela carbonatação (abaixamento do PH), pelos íons cloretos ou por outros íons contaminantes.

A proteção do aço carbono poderá ser feita por barreiras, que impedem o contato da solução com o aço, através de tintas específicas, tornando-se obrigatório para as estruturas metálicas o uso de busca-furos



Diversidade de produtos em aço inoxidável.

GLOSSÁRIO

pH – concentração de íons hidrogênio na solução. Medida da acidez ou alcalinidade da solução.

Passivo – estado de um determinado território da superfície metálica caracterizada por baixas velocidades de corrosão.

Correntes de corrosão – é formada pela corrente anódica (i_a), que nada mais é do que a velocidade de geração de elétrons no anodo e pela corrente catódica (i_c), simplesmente a velocidade de consumo dos elétrons no catodo. Numa pilha de corrosão formada, a corrente anódica literalmente sai da superfície metálica na forma de íons Fe^{++} , e a corrente catódica é representada pelo fluxo de entrada daqueles conhecidos elementos no catodo, ou seja, o oxigênio na forma de gás (O_2) e o hidrogênio ionizado (H^+), potentes puxadores de elétrons lá do anodo.



Identificador de Aços Inoxidáveis (LAB 1822)

Todos os 300 tipos de aço inoxidável se parecem. Você não pode comprar gato por lebre. Pagar caro e depois ter corrosão é duro. Em menos de 1 minuto, sem necessidade de remoção da peça, identifica-se o tipo de aço inóx presente. Este equipamento é aprovado pela norma ASTM E1476-95.

**The Metal
Detectives**

LAB 1822
Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 15



Teste de Passivação do Aço Inóx

Para eliminar qualquer chance de aparecimento de manchas de ferrugem sobre a superfície do aço inóx, torna-se necessário testá-lo para completa passivação. A presença do ferro livre na composição destas ligas é fatal. O TESTE DE PASSIVAÇÃO 2026 detecta a perda de passivação em serviço, em poucos minutos. É aprovado pela especificação Federal Americana.

**The Metal
Detectives**

LAB 2026
Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 16



A microestrutura heterogênea da liga de alumínio 2024 e 7074 mostrou-se suscetível à corrosão por fadiga nos aviões Boeing que servem de tanque de combustíveis à força aérea americana. O contato com o combustível desenvolveu corrosão por pites, além de sitomas de fadiga na liga. Modificações na liga tornaram-na mais resistente.

(Holiday Detector), pois as falhas nas pinturas potencializam enormes correntes anódicas de corrosão. A utilização de proteção catódica com anodos de sacrifício na forma líquida é uma excelente opção.

Aços liga

Aços liga (ou de baixo carbono) enquadram-se na categoria de materiais ferrosos com propriedades mecânicas e resistência a corrosão superior aos aços carbono, devido a adição de outros metais como cromo, molibdênio e níquel. A liga assim formada, usualmente, possui um teor total destes metais que varia de 0,5 a 1%, só perdendo para os aços inoxidáveis. Por exemplo, os aços cromo-molibdênio, de uso bastante específico, são muito resistentes à corrosão. Possuem concentrações de cromo que variam de 1 a 9% e de molibdênio de 0,5 a 1%. Os aços de alta resistência, como os empregados em protendidos, pertencem a esta categoria. Os níveis de alta resistência desejados pelo cliente são obtidos com o resfriamento rápido (têmpera), endurecimento com precipitação e trabalho a frio. À medida que os níveis de resistência à tração aumentam, particularmente acima de 1000 MPa, a surgência de fissuras ou de “danos causados pelo hidrogênio” (DCH), motivados por ambientes corrosivos específicos, torna-se extremamente preocupante. Em ambientes ricos em sulfeto de hidrogênio (H_2S), como os dos esgotos e de alguns efluentes, o nível de DCH começa a partir de 700 MPa.

Aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas onde o cromo é presença obrigatória, fazendo a festa com no mínimo 11%. À medida que aumenta a quantidade de cromo e varia a quantidade de, pelo menos 15 outros elementos, este aço adquire enorme resistência à corrosão. Os aços inoxidáveis são categorizados em diferentes famílias, de acordo com sua estrutura cristalina e dos ele-

mentos participantes da liga. Cada família exibe sua própria característica de resistência mecânica e à corrosão. O tendão de Aquiles dos aços inoxidáveis é sua susceptibilidade a diversas formas de corrosão localizada, fortemente afetada pelo seu dimensionamento, fabricação e condicionamento da superfície. A seleção para escolha do tipo de aço inox a ser empregado envolve muitos fatores cujo principal é a resistência à corrosão. O Instituto de Patologias da Construção (IPC) fornece aos leitores, gratuitamente, tabelas das propriedades dos inúmeros tipos de aços inoxidáveis. O mecanismo da resistência à corrosão dos aços inox diferem dos aços carbono e aços liga, já que possuem um fino filme protetor sobre suas superfícies. Com este estado protetor adicional, torna-se passivo e permanecerá assim enquanto durar aquele filme. Qualquer rutura no filme provocará corrosão localizada, que poderá ser por pites ou frestas. A velocidade de corrosão nos aços inox são extremamente baixas.

Ligas de níquel

São bastante utilizadas em indústrias químicas e refinarias, pois são extremamente resistentes à corrosão, bem adequadas à maioria dos ambientes corrosivos presentes nestes locais. A velocidade da corrosão nestas ligas, mesmo em contato com ácidos, é muito baixa, principalmente quando há adição de cobre, molibdênio e tungstênio. A adição de cromo, praticamente torna-as imunes à corrosão. No mercado há o níquel puro (comercial), as ligas de níquel-cobre, níquel-molibdênio, níquel-cromo-ferro, níquel-cromo-ferro-molibdênio e, finalmente, as ligas de níquel-ferro-cromo-alumínio-molibdênio.

Ligas de cobre

O cobre tem baixa tendência termodinâmica à corrosão, já que apresenta potenciais relativamente nobres nas tabelas de potenciais padrão das forças eletromotri-

zes e da série galvânica. Desta forma, o cobre e suas ligas são resistentes à corrosão atmosférica e a ambientes aquosos não oxidantes. O contato com soluções de ácidos fortes e ácidos oxidantes atacam o cobre. No entanto, com a introdução de outros metais na liga esta resistência é alcançada. No mercado há o cobre comercialmente puro, o latão, composto pela adição de 10 a 40% de zinco, o que melhora sua resistência mecânica e baixa seu preço, o latão amarelo composto de 30% de zinco (o mais comum), o bronze, composto com 8 a 10% de estanho e pequenas quantidades de fósforo, o bronze-alumínio, no qual introduz-se 5 a 12% de alumínio e as ligas cobre-níquel, com 30% de níquel, bastante resistentes à corrosão.

Ligas de alumínio

O alumínio é um metal reativo, porém deve sua resistência à corrosão à fina película de óxidos protetores em sua superfície. Esta estabilidade à corrosão ocorre quando em contato com o ar ou com soluções aquosas neutras de PH 4 a 8,5. Os produtos de sua corrosão são incolores e atóxicos. A presença de íons cloretos, entretanto, desestabiliza e quebra aquela película protetora, dando lugar a pites de corrosão semelhantes aos que ocorrem no aço inox. Contudo, é resistente à água do mar, desde que sua superfície se mantenha limpa, pois o acúmulo dos produtos de corrosão fazem baixar o PH a valores inferiores àqueles apre-

GLOSSÁRIO

Aço rápido – são aços com elevado conteúdo de liga, cuja composição tem 0,90% ou mais de carbono, +4% de cromo, até 18% de tungstênio e certas quantidades de vanádio, cobalto e molibdênio.

Passividade - Condição na qual o aço, devido a uma cobertura impenetrável de óxido ou outra substância, fica com um potencial muito mais positivo do que aquele que caracteriza seu estado ativo de corrosão.

Assine hoje mesmo.

RECUPERAR



Balde vertendo o aço em forno elétrico.

sentados acima. O alumínio é reativo quando em contato com a maioria dos metais, o que é confirmado pela tabela da série galvânica. Quer dizer, uma vez em contato com outros metais, funciona como anodo, entrando em corrosão acelerada. À medida que se introduz outros metais na liga, diminui sua resistência à corrosão, aumentando, no entanto, suas propriedades mecânicas.

O IPC fornece aos leitores, gratuitamente, a relação das ligas existentes de alumínio com as respectivas resistências à corrosão.

Como identificar aços e ligas de metais não ferrosos

Para a identificação e verificação do estado de passivação de ligas de aço e ligas não

ferrosas, assim como a presença de ferro nestas últimas, o método mais indicado é o que consiste na análise química. Já existem kits metalográficos portáteis, de fácil e rápido uso, possibilitando, em minutos, esta tarefa sem maiores conhecimentos.

Assim, qualquer tipo de liga, ferrosa ou não, todos os tipos de alumínio, latões, bronzes, aços inoxidáveis etc, são passíveis de identificação e verificação do seu estado de passivação. Estes testes são particularmente interessantes para todos os tipos de aços inoxidáveis, de modo a verificar se a resistência à corrosão do metal está intacta. Alguns destes aparatos dispõem de pequeno dispositivo eletrônico para leitura, combinando química analítica, eletroquímica e metalúrgica em um só kit, ideal para serviços de controle de qualidade, setores de manutenção, consultorias etc.



Fax consulta nº 17



RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Hermínia Gonçalves Brandão é engenheira metalúrgica.
- Corrosion, Vol. 13, ASM Handbook.
- Corrosion data survey - nonmetals section, 5th ed, NACE.
- D.L. Graver, ED., Corrosion data Survey - Metals Section 6th. ed. NACE.



Com o identificador de ligas de alumínio LAB 1513 acabou-se o problema de identificação do tipo de alumínio nas situações de reposição, soldagem e recuperação. O LAB 1513 também identifica cobre, magnésio, manganês e zinco. É aprovado pelo ASTM 1476-95. Em segundos, sem necessidade de treinamento.

Alumínio misterioso?

The Metal Detectives

LAB 1513

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta nº 18



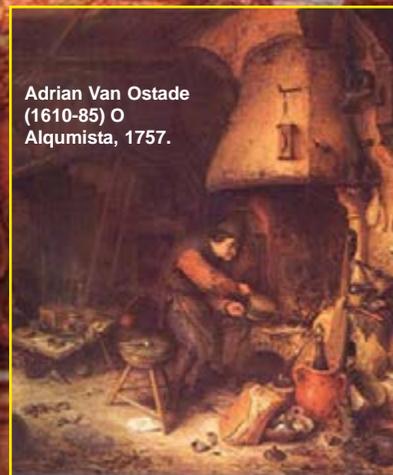
A história da corrosão (II) (final)

“Sir” Willian Fettes Douglas, um dos mais importantes alquimistas do século 19.

Joaquim Rodrigues

Na edição anterior, apresentamos as etapas pelas quais o homem passou, desde a pré-história até a era da alquimia, descobrindo e convivendo com problemas advindos do uso dos metais. Nesta edição, daremos continuidade a partir dos tempos da alquimia, localizada na Idade Média, aos primeiros estudos e análises do fenômeno da corrosão, no final do século XVIII, com o desenvolvimento da química de LAVOSIER. O desenvolvimento e o uso dos fenômenos elétricos pela e através da química, desenvolvidos por VOLTA, DAVY e FARADAY, na primeira metade do século XIX deram um enorme tranco à ciência da corrosão. Como se sabe, corrosão é um fenômeno relacionado à destruição de um metal, devido a uma reação com o ambiente circundante.

Adrian Van Ostade
(1610-85) O
Alquimista, 1757.



A partir da alquimia, toma rumo o estudo dos metais e, no início do século passado, nasce a consciência do que significa a corrosão.

Da alquimia à química

O ano é 1790 e tínhamos o legado de nove metais – ouro, cobre, prata, chumbo, estanho, ferro, zinco, platina, mercúrio – na carteira. Mais, Leonardo Da Vinci (1452-1519) já tinha tentado explicar as causas da ferrugem em algumas de suas anotações desta forma: “O ferro, uma vez abandonado ou submetido à água parada, perde sua pureza...” Já havia métodos de produção, se-

GLOSSÁRIO

Aços martensíticos – aços que podem ser feitos muito duros e com grande resistência à rutura (tenazes) através de tratamento a quente com rápido resfriamento.

Coque – combustível proveniente da destilação da hulha.

Gusa – produto siderúrgico obtido em alto forno mediante fusão do minério de ferro com coque ou carvão de madeira.

Hulha – combustível mineral fóssil, sólido, proveniente de vegetais.

Galvanização – pilha galvânica. Aplicação de zinco em superfícies ferrosas por galvanização a frio ou quente (mergulho).

Termodinâmica – estudo genérico de processos que envolvam troca de energia, particularmente aqueles afetados por mudanças de temperatura. Conversão de uma forma de energia para outra.

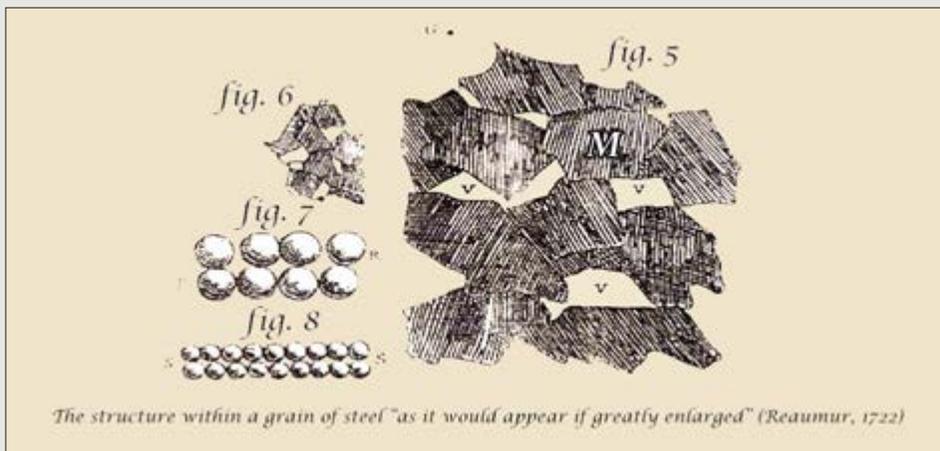
Trabalho na siderúrgica.
Funcionário verte o gusa líquido
na panela de vazamento.



Visão da época. Ordenação das unidades formadoras das ligações entre interfaces num aço martensítico.

paração e purificação de metais, a partir da reação com diferentes soluções ácidas, básicas etc. A palavra metalurgia já era empregada, particularmente nos livros “De re metallica” e “De la pyrotechnica” respectivamente dos italianos Georgius Agrícola (1558) e Vannocio Biringuccio. Em Nápo-

les, Itália, já existia desde 1.600 a primeira sociedade científica, fundada por Giambattista Della Porta, que especializava-se no conhecimento e desenvolvimento de novos metais e ligas, inclusive um chamado platina, trazido das Américas pelos espanhóis, a partir de 1500. Adentrando nesta sociedade, naquele início de século, vemos alquimistas ou propriamente “químicos” dissolvendo (literalmente provocando corrosão) a platina com o principal oxidante até então conhecido,



Visão, em 1722, da estrutura multinível de um aço temperado (rapidamente resfriado) martensítico. O pesquisador propunha que se um grão de aço fosse aumentado 50X, um conjunto de “moléculas” (M) e vazios (V) seriam revelados (fig. 5). Para maiores ampliações (fig. 6), as moléculas apresentariam uma nova subestrutura, em escala mais ampla (fig. 7), com um novo arranjo de esferas (fig. 8). Acreditava-se, há 300 anos, que se trabalhássemos bem o aço, não haveria muitos vazios ou porosidades.

“O concreto aparente terá um futuro brilhante sem qualquer presença de corrosão”

SILANO-CORR

Hidrofugante para o concreto aparente com inibidor iônico que protege contra a corrosão.
Você ainda usa verniz no concreto aparente? Você merece um futuro melhor.

SILANO-CORR

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862 / fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 25

a “água régia” (mistura de 3 partes de ácido clorídrico com 1 parte de ácido nítrico) a quente. As ligas de zinco e cobre, conhecidas desde os tempos remotos na Grécia, Egito e Roma estavam, então, em processo de aperfeiçoamento com a purificação do zinco, somente agora realizada. Experiências e mais experiências já demonstravam a rápida corrosão do zinco quando em contato com soluções ácidas ou bastante alcalinas. Em 1791, o italiano Luigi Galvani fazia experimentos com dois diferentes metais ligados ao músculo da perna de uma rã e percebia que havia geração de um negócio que ele chamou de “corrente elétrica”. Este experimento fez Galvani famoso e, até hoje, seu nome está ligado à metalurgia por uma de suas principais matérias, a conhecida corrosão galvânica, que ocorre entre metais diferentes. Apenas quatro anos se passaram, em 1794, e Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, também italiano, ficava famoso ao desmistificar a “corrente elétrica”, até então somente ligada a animais, de acordo com Galvani, e criava a

primeira “pilha elétrica” interligando uma pequena placa de zinco a uma de cobre com um grosso papel absorvente bem molhado. A chamada “pilha voltaica”, a primeira fonte verdadeira de eletricidade. Em 1801, alemães, ingleses, suecos e russos concluíam que o fenômeno galvânico, aperfeiçoado por Volta, era o resultado de reações químicas entre diferentes metais em contato com “soluções”, simplesmente porque a água pura não conduzia a tal corrente, ou seja, a pilha voltaica não funcionava com

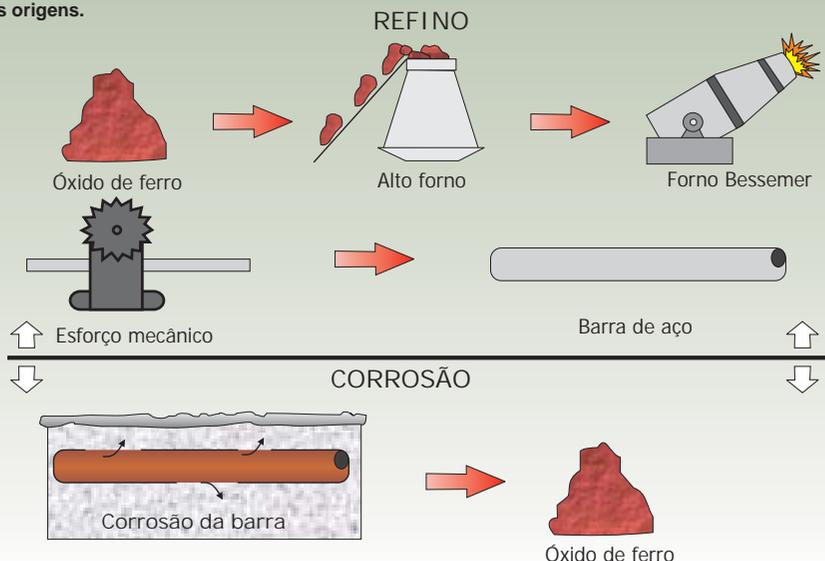
água pura.

“Sir” Humphrey Davy, em 1820, chamou aquela solução de “eletrolito” e foi mais além, colocando em prática aquela brilhante idéia italiana nos navios de guerra ingleses, cujos cascos eram externamente revestidos com lâminas de cobre, simplesmente fixando anodos de zinco ao cobre. Por volta de 1830, naquela sociedade italiana, Augusto Arthur De La Rive começou a demonstrar que barras de zinco, com impurezas (outros metais) imersas



O início e o fim do aço

Processo de criação, refino e corrosão do aço. O ferro é sempre encontrado no estado oxidado, quer dizer, é retirado da mina na forma de minério. Uma vez jogado dentro do alto forno, a energia chamada calor remove o oxigênio e “limpa” o ferro que passa ao estado líquido. A seguir, adiciona-se novos metais a esta maçaroca, entornando-a no forno Bessemer. Daí em diante é só esforço mecânico para formar barras (refino). Uma vez desprotegidos ou submetidos a ambientes corrosivos, o aço retorna às suas origens.



**A volta de
“Os segredos
da corrosão.”**

Próxima Edição

RECUPERAR

MAPEAMENTO DA CORROSÃO?



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



SÓ COM CANIN
ANÁLISE AUTOMÁTICA DA CORROSÃO

CANIN

Tele-atendimento
(0XX21) 2493-6862
fax (0XX21) 2493-5553
produtos@recuperar.com.br
Fax consulta n° 26

em solução ácida, dissolviam (corroíam) mais rapidamente do que barras de zinco puras, liberando um estranho gás (hidrogênio). Pipocavam “indústrias” de eletrogalvanização ou simplesmente galvanização por toda a Europa. Michael Faraday, paralelamente, explicava ao meio científico a relação entre a corrente elétrica e as reações químicas pertinentes, embora sem base matemática. Ou seja, a eletroquímica. Para se ter uma idéia, hoje, qualquer processo de corrosão pode ser monitorado, com medidores eletroquímicos, determinando-se potenciais e a velocidade da corrosão através da corrente circulante. Tudo graças a Faraday que, em 1834, introduziu as palavras eletrodo, anodo, catodo, íon e eletrólise. Em 1836, o químico alemão Christian Schönbein explicava o conceito de “ferro passivo”. Por volta de 1850, incorporavam-se mais 13 novos metais à lista existente em 1790. Os novos metais foram cromo, titânio, tungstênio, manganês, berílio, zircônio, telúrio, neônio, ítrio, urânio, molibdênio e bismuto.

Repare que, num prazo de apenas 60 anos, dobrou-se o número de metais conhecidos. Naturalmente, mais corrosão para analisar. Nesta altura, Antoine – Laurent Lavoisier reconheceu o oxigênio como elemento, batizando-o e explicando que qualquer reação com este gás seria uma “reação química de oxidação”. Quer dizer, metais reagem com um componente reativo do ar, chamado oxigênio e sofrem oxidação (corrosão). Logo, logo com a compreensão da reação de oxidação assimilou-se as pertinentes reações de redução onde, na verdade, os materiais combinavam-se com o oxigênio, alimentando o processo de corrosão. Nesta altura, já estava no sangue dos químicos o fenômeno da corrosão como um “processo químico”, embora, conceitualmente, nesta época, ainda não existisse tal nível de clarividência. Estava nascendo a “ciência da corrosão”.

Em 1856, com a invenção do Conversor Bessemer, enorme forno basculante em cujo fundo se encontram orifícios pelos quais passa o ar sob pressão através da forja do gusa líquido, foi possível transformar o ferro em aço. A partir daí, bilhões de toneladas de aço começaram a ser fabricadas, devido ao seu baixo preço, tornando mons-

truosa a ordem de problemas e gastos relacionados à corrosão desta liga.

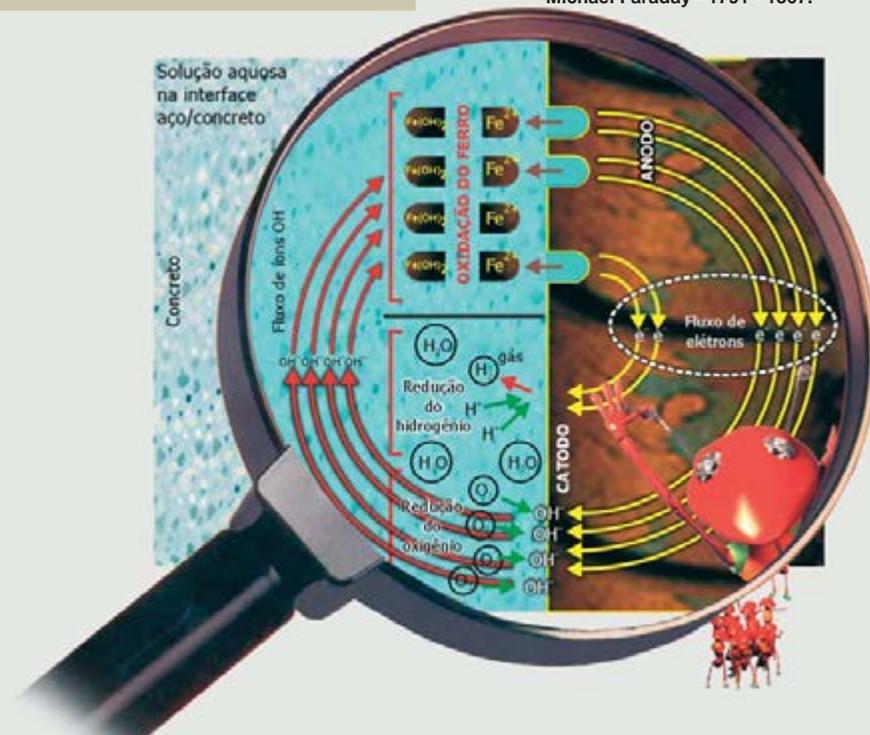
O cientista americano Josiah Willard Gibbs, juntamente com seu colega alemão Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz, desenvolveu no período de 1876 a 1882, uma das mais importantes equações da termodinâmica ligada à corrosão, a chamada energia livre de Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

ΔG é a variação de energia livre
 ΔH é a variação de entalpia
 $T\Delta S$ é a energia de organização



Michael Faraday - 1791 - 1867.



Visão ampliada das interfaces de oxidação e alimentação (redução) que provocam a destruição da armadura no concreto armado. No anodo, átomos de ferro ao perderem seus elétrons ganham carga positiva. Esta transação chama-se corrosão. Como íons metálicos na interface, os Fe^{2+} esperam os íons hidroxilas OH^- para formar produtos de corrosão do tipo $Fe(OH)_2$. Os elétrons “abandonados” imediatamente fluem através da armadura para regiões catódicas onde, em contato com a solução, “oferecem” suas cargas elétricas ao oxigênio, à água e ao hidrogênio ali presentes que, com o troca-troca, promoverão reações de redução no oxigênio e no hidrogênio, formando íons hidroxilas (OH^-) e gás hidrogênio (H_2). Caso a água, nos vazios do concreto, contenha outros íons, poder-se-á formar além do hidróxido ferroso $Fe(OH)_2$, no anodo, outras substâncias como FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 etc. Para manter a neutralidade da carga, os íons hidroxila OH^- migram do catodo para o anodo através da solução interfacial, para reagir com os íons Fe^{2+} . O que vemos, então, é um fluxo de elétrons através da armadura e um fluxo de íons pela solução interfacial concreto-armadura.

A oxirredução na superfície do aço.

Trata-se de um fenômeno que ocorre de forma simultânea na superfície de um aço em contato com uma solução. Quer dizer, sempre que há oxidação na região anódica (ou seja, perda de elétrons: átomos de ferro, com valência zero Fe^0 , perdem 2 elétrons e oxidam, transformando-se, por ionização, no íon ferroso Fe^{2+}), há também redução na região catódica, pela chegada daqueles dois elétrons (por exemplo, a água, H_2O , pre-

sente na superfície catódica, reage com aqueles 2 elétrons e produz íons OH^- e gás hidrogênio H_2). É fácil perceber que o elemento oxidado ferro, Fe , que perdeu elétrons age, na verdade, como um agente redutor lá no catodo, e a substância reduzida água, H_2O , age como um perfeito agente oxidante lá no anodo, alimentando ali a corrosão. A simultaneidade destas duas reações (oxirredução) é que provoca a corrosão.

GLOSSÁRIO

Derivar – operação matemática que expressa a taxa de acréscimo de uma variável, função de outra, e do conseqüente acréscimo.

Metallurgia – ciência e tecnologia dos metais.

A energia livre de Gibbs ou a relação entre energia química e a elétrica.

A força necessária para o desenvolvimento de uma reação química não depende apenas da natureza química das espécies presentes no eletrólito mas também da concentração destas espécies e dos produtos da reação (da corrosão). As pilhas comuns nos mostram que é possível transformar um tipo de energia (química) em outra (elétrica). Gibbs e Helmholtz perceberam isto em 1882 e derivaram a relação entre a energia elétrica produzida por uma pilha e a energia química

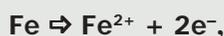
consumida por ela. Pelo fato da energia química de um processo ser igual ao calor desprendido, qualquer interferência externa, a relação entre a energia elétrica e o calor da reação significa que haverá, na verdade, uma relação entre a energia química e a elétrica. Quer dizer, a quantidade máxima de energia que se pode obter de uma reação química, sob forma de energia elétrica, é igual à variação da "energia livre" da reação.

teção Catódica, usada correntemente na forma de corrente galvânica (anodo de sacrifício) na marinha inglesa desde 1824, era a que mais chamava a atenção, muito embora algumas indústrias daquele país já utilizassem proteção catódica por corrente impressa (matéria também ministrada no curso), desenvolvida por K. Cohen em 1902. Em 1928, o americano Robert J. Kuhn apresentava o primeiro critério a ser empregado em serviços de proteção catódica: o potencial elétrico precisa ser mais negativo que $-0,85$ Volts, utilizando-se uma semipilha de cobre-sulfato de cobre, inventada 10 anos antes por Mccallum.

Em 1934, o alemão Von Wolzogen Kühn e o dinamarquês Van Der Vlugt, ao microscópio, mostravam que microorganismos, como a bactéria redutora de sulfatos (BRS), no solo, provocavam a chamada corrosão induzida por microorganismos (CIM).

A partir de 1935, métodos cinéticos e termodinâmicos, à luz de equipamentos recém lançados no mercado, começam a ser empregados para desvendar processos de corrosão. Em 1938, Marcel Pourbaix, um físi-

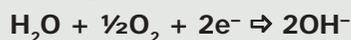
Em 1889, o pesquisador alemão Walther Hermann Nernst sugeriu que o processo de corrosão no aço, quando em contato com uma solução ou eletrólito, desenvolvia a reação anódica de corrosão deste metal, assim representada



significando a remoção de um átomo de ferro da superfície do aço com a consequente formação de um íon ferroso (Fe^{2+}) para a solução. Instantaneamente, para cada íon ferroso desprendido, dois elétrons partem em direção à região catódica. Uma vez nas regiões catódicas, que "alimentam" a corrosão, poderemos ter reações (catódicas) diversas, com a participação direta dos elétrons fugitivos, para o caso de haver solução sem presença de oxigênio dissolvido,



e, também, quando houver a introdução de oxigênio, o que é muito comum,



Conclui-se que, qualquer mudança na concentração das espécies presentes na solução, na temperatura e nas pressões atuantes modificarão o potencial (voltagem) da superfície do aço e sua posição na série das forças eletromotrizes, relacionando a fórmula

$$E = E^0 + (RT/zF)\text{Ln} (a_{\text{ox}}/a_{\text{red}})$$

Onde:

E - é o potencial do aço

E^0 - é o potencial padrão do aço

R - constante de um gás

a_{ox} e a_{red} - concentração das espécies

T - temperatura absoluta

Z - o número de elétrons transferidos

F - constante de Faraday

Esta equação também ajudou Pourbaix, mais tarde, em seus famosos diagramas. Em 1905, o pesquisador alemão Julius Tafel confirmou,

experimentalmente, a equação teórica traçada por Butler e Volmer, considerada a principal equação da cinética eletroquímica e que associa a overvoltage aplicada com a velocidade de corrosão no metal.

Esta equação é muito utilizada na determinação da velocidade de corrosão em processos eletroquímicos de corrosão.

Durante o áureo período de 1900 a 1934 onde, efetivamente, floresceu a ciência da corrosão, ficou comprovado que a corrosão desenvolvida nos metais submetidos a eletrólitos, ocorre de acordo com mecanismos eletroquímicos. Exatamente em 1929, Ulick R. Evans, com base nesta asserção, introduziu a relação entre potencial elétrico e corrente elétrica, através do conhecido diagrama de Evans, enquanto que Sir Robert Hadfield mostrava ao mundo os primeiros estudos sobre prejuízos provocados pela corrosão. Começava neste ano a conscientização do que representa este fenômeno, ao mesmo tempo em que surgia o primeiro curso sobre corrosão na Universidade de Cambridge. Uma das matérias, Pro-

"Barragem em Brasília: a maior impermeabilização feita com injeção de resinas."

Próxima Edição

RECUPERAR

Iliescu Recuperação e Reforço de Estruturas

Eng^o Marcelo Iliescu

Consultor

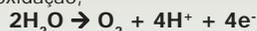
- Diagnósticos e Laudos Técnicos de RRE.
- Ensaios de íon Cloreto e de Potenciais.
- Tratamento da Corrosão com Proteção Catódica com Anodos de Sacrifício.
- Reforço com Fibras de Carbono.
- Projetos Estruturais de RRE.
- Impermeabilização contra a carga hidrostática (injeção de poliuretano).

Atendemos em todos os estados

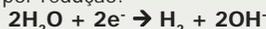
www.iliescu.com.br • iliescu@ig.com.br
(21)9165.5373 / 2570.2406

Os diagramas de Pourbaix

Estes famosos diagramas são representações gráficas do domínio da estabilidade dos íons metálicos, óxidos e outras espécies, quando presentes na solução em contato com o metal. As linhas que mostram o limite entre dois domínios evidenciam o valor do potencial de equilíbrio entre duas ou mais espécies em função da concentração dos íons hidrogênio, ou seja do pH. São a expressão gráfica da lei de Nernst. Estes diagramas também dão o equilíbrio das reações ácidas e básicas sem que se formem elétrons e^- , conseqüentemente, são insensíveis à variação dos potenciais, o que pode ser visualizado pelas retas verticais presentes no diagrama. Permitem visualizar, sem relance, as espécies estáveis presentes na solução em contato com o aço, para condições específicas de potencial de pH. O diagrama é o mapa das regiões de imunidade, passividade e corrosão do ferro. Este metal tende a dissolver-se, dependendo de Fe^{++} , corrosão, no diagrama do ferro, em função do pH e do potencial. Os diagramas de Pourbaix foram inventados levando em conta as reações de equilíbrio em água. Conseqüentemente, o diagrama E - pH da água deverá, sempre, ser considerado, em qualquer outra situação. É representado pelas duas linhas tracejadas (a) e (b) onde, acima da linha (b) a água tende a se decompor por oxidação,

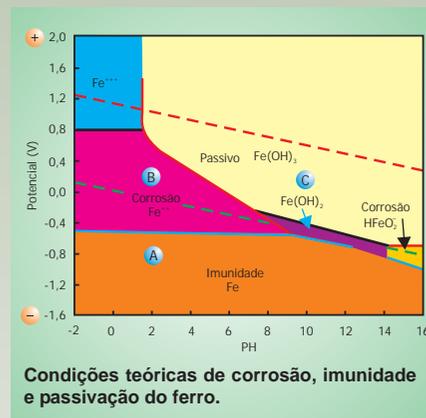


potencializando todo o processo de corrosão. Abaixo da linha (a), a água tende a se decompor por redução.



Entre as linhas (a) e (b) a água é termodinamicamente estável. Dentro da região de passividade e corrosão, no diagrama do ferro, este metal tende a dissolver-se dependendo de Fe^{++} , aumentando a concentração deste íon na interface do metal com a solução. Na região de imunidade, a estabilidade do ferro metálico

aumenta e a capacidade de Fe^{++} é mínima, ou seja, o ferro torna-se imune. Esta região de potenciais negativos abrange todo o domínio do pH, de ácido a alcalino. Por exemplo, abaixo, no diagrama simplificado potencial - pH do ferro, visualiza-se que o aço é um metal



relativamente ativo e corrói, quando submetido a soluções fortemente ácidas (pH de -2 a 2), onde há intensa, moderada e leve condição oxidante atuando nos catodos ou seja "alimentando" a corrosão. Quando submetido a soluções levemente ácidas (pH de 2 a 5) corrói em condições moderadas e leves. Submetido a soluções consideradas neutras (pH de 5,5 a 9) e moderadamente alcalina (pH de 9 a 13,5) o ferro não corrói porque torna-se, naturalmente, imune quando sua superfície se desintegra (perda de muitos elétrons) rapidamente e passivo, quando submetido a condições mais oxidantes (ganho de muitos elétrons). Ironicamente, quando o ferro fica em contato com soluções fortemente alcalinas (pH superior a 14) não corrói, exceto para uma pequena região de potenciais e pH onde se formam produtos alcalinos de corrosão solúveis.

co-químico belga, desenvolveu cálculos termodinâmicos para obter a situação de equilíbrio do ferro em contato com a água, baseando-se naquelas equações de Nernst e Gibbs-Helmholtz. Este importante cálculo permitiu inventar seus famosos diagramas potencial elétrico - pH, abrindo a porta para a compreensão das condições da corrosão, passividade e imunidade do ferro em contato com a água. Pourbaix, posteriormente, criou diagramas para todos os metais em contato com a água, incluindo a presença de alguns contaminantes e publicou-os no "Atlas de equilíbrios eletroquímicos". Neste mesmo ano de 1938, os alemães C. Wagner e W. Trand desenvolviam a teoria do potencial misto, baseando-se no comportamento de inúmeros processos de corrosão superpostos em processos eletroquímicos. Não precisa dizer que este achado

clareou os fundamentos para as técnicas de aplicação dos testes da corrosão eletroquímica. Daí para diante foi uma sucessão de novas descobertas:

- Em 1942, Hickling bolou um aparelho elétrico que controlava o potencial, o qual chamou de potenciostato.
- Em 1950 começaram a ser utilizados os aços inoxidáveis.
- Em 1954, C. Edeleom introduziu a proteção anódica para metais com comportamento ativo-passivo como o aço.
- Em 1956, J.L. Rosenfeld definiu os primeiros conceitos sobre corrosão atmosférica.
- Em 1957, M. Stern e A.L. Geary desenvolveram a técnica de polarização linear, de modo a medir-se, rapidamente, a velocidade da corrosão eletroquímica.

A corrosão em tempos modernos (1960-2003)



A partir de 1960, com tanto prejuízo acumulado a cada ano pela corrosão, os grandes centros iniciaram a inevitável (e inteligente) estratégia denominada "monitoramento da corrosão", com a utilização de equipamentos e métodos, objetivando o levantamento periódico do fenômeno. Em 1961, com a importância deste fenômeno, acontecia o 1º Congresso Internacional de Corrosão, em Londres. Como se vê, corrosão, efetivamente, virou preocupação nacional em todos os países, já que seu custo/ano, invariavelmente, ronda entre 2 a 5% do produto interno bruto. Como? Simplesmente, porque o alavancador de todo o nosso progresso ficou restrito a uma simples e barata liga metálica chamada aço. Esquecemos que este metal é extremamente reativo e que cerca de 50% daquele prejuízo anual poderia e pode ser evitado se tomarmos medidas eficientes (e não enganosas) para sua proteção.

Fax consulta nº 27



RECUPERAR

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro 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.
- L. Beck, Geschichte des Eisens, Vierweg & Sohn, Braunschweig 1884/1903.
- U.R. Evans, Einführung in die Korrosion der metalle. Historischer Überblick.

"Recentes recomendações do ACI para as estruturas de concreto que estocam líquidos corrosivos."

Próxima Edição

RECUPERAR