

# Proteção Catódica – Teoria e Prática na Indústria da Água

K. G. C. BERKLEY

Traduzido e adaptado da revista "Water and Water Engineering" Vol. 72 — n.º 872 — outubro de 1968 — Págs. 416 a 421 — pelo Gen. Div. Eng.º Leonino Júnior

## Resumo

Este artigo tem por finalidade esboçar a história e apresentar causas e remédios para alguns dos problemas de corrosão, que afetam a Indústria da Água. Nêles são descritos os fenômenos que produzem a corrosão eletroquímica e se indica até que ponto a proteção catódica pode ser utilizada por aqueles que tem responsabilidade nos planejamentos e projetos, permitindo-lhes também avaliar em que condições as providências devem ser tomadas.

## História

O mais remoto conhecimento da eletricidade galvânica, que finalmente conduziu ao razoável desenvolvimento da proteção catódica, estava intimamente associado com problemas da incrustação marítima. Há muitos séculos passados, os navios gregos foram revestidos com chumbo, para proteção contra o ataque por bactérias marinhas corrosivas e, mesmo que provavelmente não se tivesse comprovado até que ponto o revestimento metálico fosse satisfatório, ficou constatado praticamente que o processo dava bons resultados.

Durante o século 18, foram feitas experiências para evitar a incrustação em cascos de madeira, pelo emprêgo de folhas de cobre, como um aperfeiçoamento no emprêgo do chumbo, com a utilização da dissipação do cobre na água do mar. Isto é o princípio ainda em uso atualmente, quando a maioria das tintas protetoras contem uma certa percentagem de cobre, que se dispersa na água que circunda o casco, e assim envenena a vegetação marinha. Em navios de madeira, quando se adotou a prática de emprêgo de chapas e peças de aço na quilha, foi notado que as partes de ferro que se situavam nas proximidades do cobre ficavam seriamente corroidas. Isso conduziu às famosas ex-

periências de Sir Humprey Davy, em 1824, quando êle comunicou à Sociedade Real que uma peça de zinco, tão grande quanto uma ervilha ou do tamanho da ponta de um pequeno prego de ferro, foi verificada ser perfeitamente suficiente para preservar de 100 a 125 cm<sup>2</sup> de cobre. Apesar disso ter constituído a primeira apreciação do efeito galvânico na prática, seu uso entrou em decadência, provavelmente porque a inversão de corrente que se processava evitava o cobre de se dispersar na água e assim a proliferação de organismos marinhos se dava novamente nos cascos.

Na segunda metade do século 19 surgiram os cascos de ferro, sendo então despertado grande interesse pela corrosão marinha. Isso por sua vez, conduziu ao uso de placas de zinco, fixada nos cascos, o que constitui ainda prática comum na Construção Naval, se bem que tal meio esteja sendo progressivamente substituído por processos mais aperfeiçoados de controle da corrosão.

Em acréscimo ao que foi feito na Indústria Naval, o problema da corrosão não foi cientificamente considerando, até que os efeitos das correntes elétricas dissipadas foram investigados no início do Século XX, coincidindo com o grande emprêgo da tração por corrente contínua. Foi então verificado que as fugas subterrâneas, provenientes das correntes dissipadas, poderiam ser evitadas mediante o encaminhamento dessas correntes para fora das instalações subterrâneas ao longo de condutores metálicos propositamente colocados. A partir desse fenômeno, o caso das tubulações e o da consequente proteção catódica, com o processamento de técnicas de controle, vieram a se tornar muito mais importantes. Modernas técnicas, devidas principalmente à indústria do óleo, na parte final da 2.ª Guerra Mundial e, mais recentemente, por volta de 1950, devido ao aumento do emprêgo de tubos

de aço e à adoção de pressões mais elevadas de bombeamento, foram amplamente investigadas e desenvolvidas, visando todos os métodos possíveis de controle da corrosão.

### A definição de corrosão

Cada metal tem uma tendência natural para voltar ao estado em que foi obtido na natureza. Geralmente esses metais, que foram liberados do solo com grande dificuldade, para ele revertem de modo relativamente muito mais fácil, e isso infelizmente ocorre, especialmente com o ferro e conseqüentemente com o aço. A Fig. 1 mostra com o óxido de ferro é transformado em um forno de redução, para a produção do aço. O aço, em contato em um ambiente que contém oxigênio, se oxida rapidamente e reverte ao seu estado inicial, sob a forma de óxido. A natureza nos recompensa, em troca por esse elemento muito instável, como o ouro, que é extraído no seu estado natural, devido à sua resistência à corrosão.

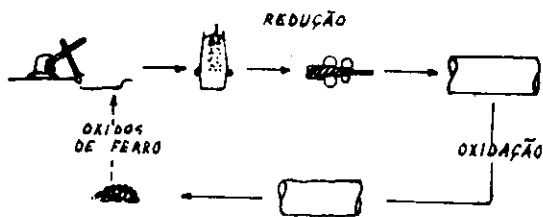


Fig. 1 — O ciclo da corrosão

Neste ponto podemos então definir a corrosão como sendo um processo no qual um metal é destruído, por uma reação eletroquímica entre esse mesmo metal e o meio ambiente.

### Os fatores básicos da corrosão

Existem preliminarmente quatro causas básicas que podem dar início à deterioração metálica:

#### a) Corrosão galvânica

Quando dois metais diferentes são interligados por meio de um eletrólito, dá-se a passagem de uma corrente de um para o outro (Fig. 2). O metal do qual a corrente sai tende a se dissolver no eletrólito, fazendo com que o que recebe a corrente não seja evidentemente afetado. Quando a corrente deixa um desses metais, ela se torna carregada

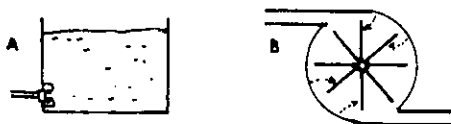


Fig. 2 — Corrosão galvânica

- A) Tanque de aço para conexão de cobre.  
B) Caixa de aço para rotor de bronze.

negativamente e o escoamento para o outro metal cria uma carga positiva nessa parte do circuito.

O metal gerador de corrente é conhecido como "ânodo" e o metal para o qual a corrente flui é denominado de "catodo".

A facilidade ou a extensão segundo a qual serão os corpos corroídos quando colocados em um determinado eletrólito, é uma função direta da série eletroquímica, que é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1

Série eletroquímica dos metais (na terra e na água do mar).

Potássio (extremidade reativa ou corrosiva).  
Magnésio; Alumínio; Zinco; Aço doce; Ferro fundido ou moldado; Aços liga (ativos); Chumbo; Estanho; Bronze; Latão; Cobre; Aços liga (passivos); Prata; Platina; Ouro (extremidade passiva ou catódica).

Pelo exame da Tabela 1 é possível prever qual o metal que se torna ânodo e qual o catodo, quando ambos são ligados através de um eletrólito. É importante notar que a ordem na tabela pode ser alterada ligeiramente em certos eletrólitos, porém a sequência mostrada é a que indica as condições mais prováveis de serem encontradas na Indústria de água.

#### b) Efeito da Aeração Diferencial e da Concentração de Células.

Trata-se de um fenômeno que pode ocorrer em um metal homogêneo, sob forma diferente do que foi anteriormente descrito e que requer dois metais diversos para o seu início. O fator causador agora é a diferença de eletrólitos, que está geralmente ligada à concentração de oxigênio. A Fig. 3 mostra como tal efeito pode surgir e se estender até muitos quilômetros de tubulação. Um exemplo disso seria o de uma tubulação se desenvolvendo de um ambiente úmido para um ambiente seco, que é relativamente um mau condutor de eletricidade.

Tal modificação, se processando entre vários quilômetros de tubo, pode produzir correntes de considerável valor, dando origem a expressão "correntes de tubulações longas. Tal fenômeno pode ser notado na prática em algumas das maiores adutoras troncos, de sistemas existentes no país; por exemplo, o sistema da Companhia de Águas de Sunderland e South Shields, na parte do conjunto de Derwent, tem tubulações que se estendem de áreas relativamente rochosas em Durham Moors, através de trechos com carvão mineral, até áreas de bacias hidrográficas, nas imediações de Sunderland, Washington e Jarrow.

As medidas de resistividade indicaram que se poderia prever o surgimento de uma corrente elé-

trica de valor apreciável, devida ao fenômeno em aprêço, como consequência da grande variação de resistividade, e tal fato foi levado em consideração, quando do projeto do sistema de proteção catódica.

Efeitos diferenciais de aeração também podem ocorrer no armazenamento da água em reservatórios e em estações de tratamento contendo líquidos, do mesmo modo que em estruturas implantadas no solo.

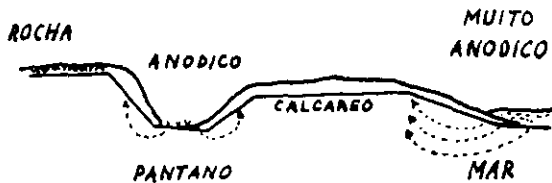


Fig. 3 — Aeração diferencial (e corrosão em tubos longos)

Poderá ocorrer uma situação em que se verifiquem concentrações diferentes de oxigênio, quando então poderão surgir fenômenos de corrosão nas áreas com deficiência de oxigênio, tais como baixadas, ângulos reentrantes e certas partes de tanques, com condições de estagnação.

#### c) Corrosão por correntes dissipadas

Destacamos que a corrosão é de natureza eletroquímica e portanto qualquer fonte externa produtora de correntes que entrem ou saiam de uma estrutura, poderá perturbar o equilíbrio e dar margens à corrosão (Fig. 4). Outro ponto importante a destacar é que uma corrente que entra na estrutura deverá protegê-la porém a que sai transportará ions metálicos em solução e assim aumentará a corrosão natural. Se uma corrente de um ampere for escoada em uma peça de aço durante um ano, 9 quilos de metal serão retirados por solução, da região de saída da corrente. Tal forma de corrosão tem muitas origens, incluindo-se trilhos, sistemas de sinalização, motores de corrente contínua e equipamento de solda por corrente contínua.

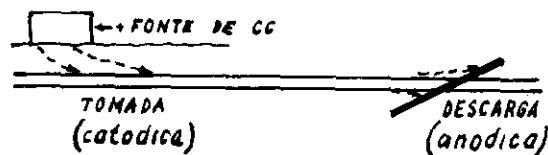


Fig. 4 — Corrosão por correntes dissipadas

Existem alguns indícios de que as correntes alternadas podem iniciar este tipo de corrosão, mais particularmente em revestimentos de chumbo em condutores, quando a corrente alternada poderá ser captada e retificada parcialmente, produzindo-se portanto pequeno escoamento de corrente contínua. Por analogia, um efeito semelhante poderá ser ob-

tido em tubos interligados com juntas de chumbo, e portanto a introdução gradual de linhas de alta tensão de 475 KV, no sistema de distribuição de energia elétrica da Inglaterra, está sendo cuidadosamente observada, na suspeita de que poderão surgir correntes de fuga inesperadas, em certas condições de transmissão. A análise e a divulgação desses problemas ainda não foi feita em grande extensão, porém é útil tomar precauções especiais de ligações à terra, quando se trabalhar em distâncias até 400 metros, nas imediações desses cabos de alta tensão.

#### d) Corrosão bacteriológica

Algumas bactérias podem viver na ausência de oxigênio e especialmente uma, classificada como "devibrio sulphuricans". A proliferação dessa bactéria depende da redução de sulfatos no solo, em lugar do consumo de oxigênio, que é o modo normal de reprodução bacteriana. A corrosão, associada com esta forma de bactéria produz sulfatos, que podem ser facilmente percebidos pelo olfato quando são examinadas escavações recentes, próximas da área suspeita.

A destruição dessa forma bacteriana é obtida rapidamente, pela exposição ao oxigênio, e consequentemente este fenômeno é normalmente observado somente onde as tubulações estão mergulhadas em solos compactados — especialmente os que contêm muitos sulfatos e outros sais solúveis. Na Inglaterra essa presença está limitada quasi que exclusivamente a concentrações de argila azul, e em menor proporção, amarela.

#### Definição de proteção catódica

A proteção catódica é o processo pelo qual uma corrente elétrica é introduzida em um metal, em quantidade suficiente quer para neutralizar, quer para ultrapassar quaisquer correntes que se possa prever que se escoem desse metal. Se tal condição for obtida, a dispersão cessa e não mais se verifica corrosão alguma.

No caso de uma estrutura metálica enterrada, a corrente contínua é introduzida através da terra, de tal modo que se escoar pela estrutura que está sendo protegida, e quando isso é obtido em quantidade suficiente para contrabalançar todas as correntes locais, diz-se que a estrutura está "catódicamente protegida".

Quando um metal deve ser protegido, estando imerso em um líquido, a corrente é enviada através do líquido, para a estrutura. Ainda aqui quando o valor da corrente tem amplitude suficiente para evitar qualquer dissolução do metal, a estrutura está também catódicamente protegida.

## Métodos básicos de aplicação

Algumas espécies de fontes de corrente contínua tem sido indicadas como métodos de prevenção da corrosão. Isso pode ser obtido quer pelos estudos dos metais na série galvânica, quer por intermédio de uma fonte externa. O estudo da série eletroquímica da Tabela 1 indica que a escolha de um metal mais anódico, acoplado a um outro de gráu mais baixo, proporcionará proteção galvânica ou de desgaste. A verdadeira escolha do metal é óbviamente ditada por fatores tais como disponibilidade, estabilidade, preço, duração, espécie e extensão do produto de corrosão do anodo; em consequência, o magnésio, o alumínio e as ligas de zinco são os materiais galvânicos mais populares. O ânodo por sua vez, é erodido ao gerar a corrente de proteção, daí a expressão "proteção de desgaste". A Fig. 5 mostra uma instalação dessa modalidade.

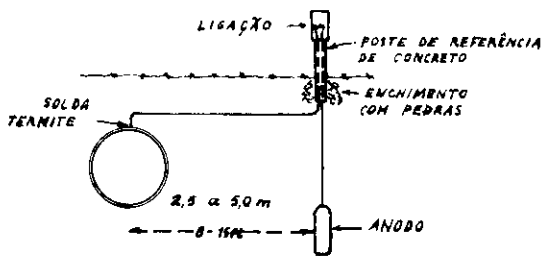


Fig. 5 — Esquema típico de proteção com anodo de magnésio

O magnésio é o ânodo mais comumente empregado como base de liga; o zinco é menos frequentemente empregado, porque o seu potencial em circuito aberto é igual aproximadamente a metade do magnésio. O potencial em circuito aberto entre o aço e o magnésio é aproximadamente de 1 volt, e, mesmo assim, constitui uma voltagem de derivação relativamente baixa, que consequentemente limita o uso de qualquer espécie de ânodo galvânico. Isso se torna especialmente importante em ambientes de alta resistividade, onde a resistência total do circuito pode atingir um valor que poderia anular quase que completamente a ação do anodo e assim evitar a obtenção de qualquer escoamento de uma corrente mensurável. Inversamente em um meio de baixa resistividade, torna-se frequentemente necessário limitar o escoamento da corrente pela colocação de um fio de resistência no circuito, se bem que sempre que possível o tamanho do anodo seja escolhido de modo a produzir um efeito máximo, nas condições locais conhecidas. A Tabela 2 pode ser usada como orientação, para o uso de anodos de magnésio.

A eficiência de um ânodo galvânico depende da liga escolhida, porém os valores normalmente aceitos indicam que aproximadamente 8 quilos (17 libras) de magnésio ou 12 quilos (26 libras) de

zinco são necessários para gerar uma corrente de 100 miliampéres (ou um décimo de ampére) durante 10 anos.

Tabela 2

Comparação entre o peso do ânodo de magnésio e a resistividade do solo.

Peso do ânodo de magnésio		Resistividade
(libras)	(quilos)	(ohm/cm)
17	8	3.000 ou mais
32	14.5	3.000 — 1.500
50	22.5	Abaixo de 750

Outro método para obter a proteção catódica consiste no emprégo de uma "corrente externa". Neste caso, cria-se um anodo por meio de uma fonte externa, adotando-se um material quimicamente inerte e tornando-o o lado positivo de um circuito de corrente contínua. A corrente é então escoada desse ânodo, através do solo ou da água, para a estrutura a ser protegida.

Os ânodos, no caso dos sistemas de correntes emitidas, são colocados em uma vala que é chamada de **leito de tomada de terra**. Esse dispositivo consiste em uma seção quadrada, com 30 cm de lado, com cerca de 15 a 60 metros de comprimento, cheia de carvão fino de boa qualidade, na qual é colocado o material inerte ao ânodo. Atualmente é empregado um ânodo de ferro, contendo cerca de 14 por cento de silício, se bem que a grafite, que vem sendo empregada há 10 anos já, ainda seja mais popular e mais econômica. A fig. 6 mostra um esquema típico do dispositivo. Outro processo empregado, cujas aplicações vêm aumentando, consiste no uso de titânio platinado no local da tomada de terra, que apresenta a vantagem de ser muito leve, e de poder ser pré-fabricado fora do local, evitando-se assim a dificuldade, sempre presente, de obter-se ligações elétricas impermeáveis no campo. Esses leitos de tomada de terra com titânio platinado também apresentam vantagens de custo de insta-

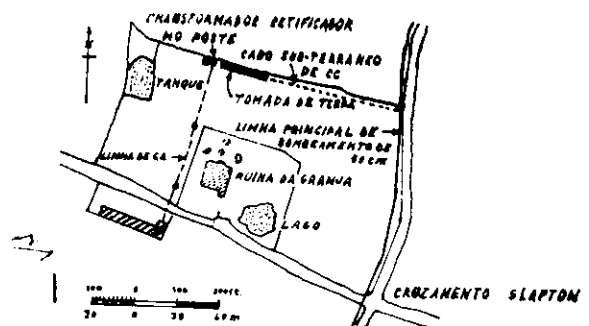


Fig. 6 — Disposição típica de um sistema de corrente externa, com leito de tomada de terra

lação e de duração, em sistemas de tubulações que requerem até 5 amperes, em condições locais favoráveis de instalação, sendo também amplamente usados na proteção de tanques de água, de bombas e de algumas estações de tratamento. Qualquer sistema de proteção com corrente externa pode ser projetado para 20 anos de duração, com trabalhos de manutenção relativamente simples. Se bem sejam inicialmente mais caros, se forem considerados cuidadosamente os fatores de duração e de custo de manutenção, eles serão normalmente mais interessantes do que os sistemas de desgaste.

### O circuito básico de proteção catódica

Toda a proteção catódica é baseada no conceito da Lei de Ohm, que estabelece que a voltagem (V) é diretamente proporcional ao produto da resistência do circuito (R) pela intensidade da corrente (I), isto é,  $V = R \cdot I$ . Geralmente a voltagem disponível é predeterminada, quer pela escolha da liga do ânodo quer pelo tamanho do leito de tomada e pelas ligações correspondentes. A resistência do circuito é também conhecida, uma vez que, basicamente é uma combinação da resistividade do solo e da resistência dos fios, de tal modo que, conhecendo-se esses dois fatores, a corrente disponível do projeto pode ser calculada. Isso obviamente constitui uma simplificação do esquema geral, porém a Lei de Ohm nada mais é do que o princípio fundamental sobre o qual se apoiam o projeto e a aplicação da proteção catódica.

### Limitações do método

Se bem que a proteção catódica possa evitar que o metal seja retirado de uma estrutura, ela não pode fazer com que esse metal volte, depois de retirado. Portanto, nas novas estruturas ela pode evitar a corrosão, porém nas antigas, ela pode fazer apenas cessar a corrosão. A aplicação da proteção aos tipos antigos de estruturas é inicialmente duvidosa, algumas vezes, especialmente no caso de tubulações de baixa pressão, mergulhadas em solos muito compactados, porque a aplicação da corrente faz com que a ferrugem seja desprendida do material, e assim ficam expostas as crateras, que anteriormente estavam cobertas com o produto da corrosão. Consequentemente, em uma velha instalação constitui fenômeno muito comum o aumento das perdas logo após a aplicação da proteção catódica, porém posteriormente elas tendem para zero, no caso do sistema ter sido devidamente tratado.

A condição de que a superfície da estrutura seja revestida é de grande importância.

A proteção catódica pode ser aplicada tanto em superfícies bem revestidas como nas mal revestidas, com pleno sucesso, porém será necessária uma pro-

teção muito maior no caso de uma estrutura não revestida.

A corrosão geralmente se concentra nos vazios ou nas regiões descascadas das camadas protetoras, o que pode dar margem a que um tubo ou um reservatório, muito bem protegido, apresentem falhas prematuras, devido à corrosão acelerada, nas partes expostas. Na prática é extremamente difícil realizar uma proteção superficial absolutamente perfeita; no entanto, com uma cuidadosa verificação do que foi feito, especialmente nos casos em que uma estrutura qualquer seja enterrada no solo ou esteja em contato com a água na sua parte revestida, a pintura ou o capeamento devem ser associados com a proteção catódica, como uma segurança contra as falhas isoladas.

A proteção catódica pode ser aplicada inicialmente a qualquer espécie de estrutura, qualquer que seja a sua complexidade. Como seria normal, as formas regulares são geralmente mais simples de proteger, porém as estruturas que possuem ângulos agudos, ramificações ou cruzamento de tubos, apresentarão problemas especiais para o projeto. Está comprovado que a distribuição da proteção catódica depende das condições eletrolíticas do ambiente e das possibilidades locais de distribuição da corrente, sendo interessante notar que o efeito da proteção não se propaga desde uma extremidade no início até um pequeno tubo, no fim. Essa é a situação que se apresenta em um condensador, onde uma alta corrente é aplicada à caixa de água, mas apenas uma pequena proteção atinge os tubos, situados no fim do sistema.

A aplicação correta da proteção catódica a sistemas complexos de tubulações enterradas é geralmente complicada, e por tais razões é que foi nomeada a "Comissão para a Coordenação da Proteção Catódica em Estruturas Enterradas". A Comissão estabelece regras que protegem os interesses das partes que não estejam inicialmente abrangidas pela proteção catódica do projeto que está sendo tratado. São propostos limites para o balanceamento anódico que será permissível nas tubulações associadas e geralmente seus membros prestam assistência na aplicação dos métodos e de recomendações para a obtenção da unificação da proteção catódica subterrânea, através do país.

### Fatores de projeto

Qualquer estrutura enterrada ou imersa em um eletrolítico tem uma superfície conhecida, que ficará exposta a esse eletrólito. A perda do metal pode portanto se processar inteiramente ao longo dessa área e para contrabalançar esse efeito, uma certa corrente deve ser aplicada, para evitar que isso se dê. Consequentemente, um dos fatores iniciais a ser consi-

derado para a aplicação da proteção catódica, é a densidade de corrente por unidade de área a ser protegida. A escolha da densidade de corrente é uma das decisões envolvidas na aplicação da proteção catódica, uma vez que ela pode variar entre algo da ordem de 1000mA/0,1m<sup>2</sup> para máquinas de compressão trabalhando desprotegidas na água do mar, até valores tão baixos quanto 0,00001mA/0,1m<sup>2</sup>, para tubos muito bem revestidos em estruturas situadas em certos solos ou águas.

Augumas vêzes é possível realizar ensaios em estruturas acabadas de instalar e é por tais razões que êsses ensaios de "propagação da corrente" são algumas vêzes propostos. Durante êsses ensaios, aplica-se uma corrente gerada por um aparelho portátil ou por uma fonte de corrente contínua, através de um leito de tomada de terra ou de um ânodo, sendo os potenciais medidos ao longo da área que está sendo investigada. A intensidade da corrente pode ser variada por meio de um reostato, e o valor mínimo requerido para dar o necessário grau de proteção pode então ser medido "in loco". Êsses ensaios tem suas limitações, pelo fato das condições locais variarem grandemente com as épocas e ao longo dos anos, porém êles darão uma indicação útil, se forem corretamente interpretados. Associada a êsses ensaios, está a verificação muito importante da resistividade do eletrólito. Se a estrutura estiver imersa em água do mar ou em água salobra, os valores da resistividade serão conhecidos dentro de limites razoavelmente precisos, porém, evidentemente a textura do solo à profundidade do tubo não pode ser determinada visualmente, sem uma sondagem ou a execução de furos de verificação. A resistividade dos solos depende de vários fatores, tais como:

- Textura: solos arenosos finos são menos corrosivos do que os granulados argilosos.
- Uniformidade: solos de composição homogênea são muito mais corrosivos do que os não homogêneos.
- Conteúdo de oxigênio: solos bem arejados são menos corrosivos do que solos compactos.
- Matérias orgânicas: solos com pouca matéria orgânica, tais como as areias, são normalmente menos corrosivos do que os que possuem alto teor de matérias orgânicas.
- Acidês: os solos grandemente ácidos são corrosivos.
- Alcalinidade: os solos altamente alcalinos são muito corrosivos.
- Conteúdo bacterico: os solos que contém bactérias sulfato-redutoras são muito corrosivos para o aço e para o ferro; são geralmente as argilas saturadas.

Essas variedades de constituição dos solos indicam a necessidade da existência de um método rápido de investigação, e é por tais razões que é medida a resistividade elétrica. Ela indica a facilidade ou a dificuldade com que a corrente elétrica poderá se escoar através do solo; se a corrente puder se escoar facilmente, pode-se então antecipar que haverá séria corrosão, porém se houver uma resistência mais alta, então a corrente gerada em consequência das várias causas será limitada, e portanto a corrosão será reduzida.

O ferro é mais tolerante à corrosão do que o aço e conseqüentemente o grau de corrosão em tubos feitos desses materiais varia ligeiramente. Existem muitas outras variáveis quando se associa a corrosão com um certo conjunto de condições, porém acredita-se que a Tabela 3 proporcione uma indicação aproximada.

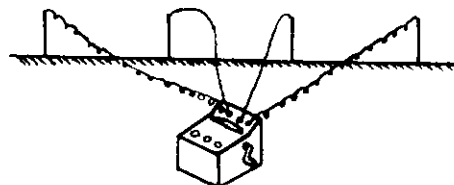
**Tabela 3**

**Resistividade do solo e corrosividade**

0 — 1.000 ohm/cm	muito corrosivo
1.000 — 3.000 "	corrosivo
3.000 — 5.000 "	medianamento corrosivo
5.000 — 10.000 "	levemente corrosivo
10.000 — ou acima "	normalmente não corrosivo

A Tabela 3 não deve ser tomada como um critério absoluto, uma vez que o grau de variação da resistividade do solo está ligado a ela. Uma modificação brusca na resistividade de um solo indica uma modificação no conteúdo de oxigênio e portanto no surgimento de correntes ao longo da linha e de outros fatores, anteriormente mencionados.

O método de medida da resistividade do solo geralmente adotado é o que se atribui a Wenner. Quatro estacas são postas em contato com o solo, sendo dispostas de modo a ficarem equidistantes (separadas de *a* cm) (Fig. 7).



**Fig. 7 — Medida da resistividade do solo**

Gera-se uma corrente, que é feita passar entre as estacas extremas, sendo a queda de voltagem medida entre as estacas internas. O medidor é disposto de tal modo que permite uma leitura direta da resistência *R*, sendo a resistividade ( $\rho$ ) calculada

diretamente, pela aplicação da fórmula:  $\rho = 2r \cdot R$ , a ohm — cm. Deve-se notar que o valor assim obtido é apenas uma medida da resistividade média do solo, compatível com o espaçamento das estacas, e que não indica necessariamente as verdadeiras condições, à profundidade da tubulação.

Em solos reconhecidamente não homogêneos, é melhor fazer medidas entre várias estacas devidamente dispostas, de modo a se poder obter uma resistividade de conjunto a uma série de profundidades, tais como 1m, 2m, 3m, 4m e 5 m.

Uma aplicação importante da determinação da resistividade do solo foi feita em uma linha tronco, em um trecho proposto, entre as ruas Austell e Colomb, do setor de Newquay, de abastecimento de gás (N. do T. — Trata-se, evidentemente de locais da cidade de Londres). — De um modo geral, o trajeto se desenvolvia sobre terreno de resistividade relativamente alta, porém de súbito, a resistividade caiu, em um trecho com crca de 10 metros, para um valor considerado corrosivo. Ficou provado que isso era consequência do efluente de uma propriedade que, se lançando naquele trecho curto, tornava o solo extremamente corrosivo.

Deslocando-se o trecho para o lado, cerca de 10 metros, e conseguindo-se uma drenagem adequada para a área, permitiu que a colocação definitiva fosse feita em local não corrosivo. Na fase de projeto, tendo sido determinada a resistividade do solo e considerada a corrente necessária para proteger a estrutura, deverá ser feita a escolha final, entre os sistemas de proteção galvânica ou de corrente externa.

Isso naturalmente depende da disponibilidade de uma fonte adequada de corrente alternada, da complexidade das estruturas interessadas, da duração prevista para o sistema e de facilidade de manutenção. Algumas vezes é possível combinar os sistemas galvânico e de corrente externa em um esquema único, e isso foi feito há cerca de 8 anos, em uma linha tronco de 50 cm, em Cheltenham. Cerca de 8 km da linha se estendem sobre campo aberto e esse trecho foi protegido por pequenas estações de fornecimento de corrente, porém 5 km passam através de uma área construída. Esta última parte foi protegida com sucesso pelo emprêgo de ânodos de zinco, que têm um efeito bastante localizado e eliminam a necessidade de ensaios complicados e dispendiosos para instalações complementares.

Deve-se compreender, nesta altura, que para que se obtenha uma proteção catódica satisfatória, a tubulação deve ser elétrica contínua. A continuidade elétrica não pode infelizmente ser obtida com antigos tipos de tubos, ligados por juntas de chumbo calafetadas, nem muito menos com juntas

de chumbo, associadas com borracha. Sabe-se, no entanto, que deve-se ter muito cuidado na limpeza e no preparo das juntas, fazendo-se com que exista uma parte descoberta de contato de metal para metal; depois de um período de alguns meses forma-se uma película de óxido sobre o chumbo e isso constitui uma forma de resistência muito séria, que surge no circuito, e impede a corrente de se escoar de um trecho para o outro: portanto, algumas precauções devem ser tomadas com relação à ligação entre trechos de tubos não soldados. Um fenômeno semelhante também ocorre, em tubulações com juntas tipo Johnson e agora já se tornou medida de ordem prática, como consequência de dois amplos ensaios feitos com sucesso, pela Companhia de Águas de South Shields e Sunderland, providenciar junto ao fabricante para fornecer os tubos com bornes de ligação de 15 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento, nas extremidades. Esse borne é soldado em uma posição tal que permite a junção normal pelo processo de junta Johnson e, mediante uma ligeira adaptação na caixa do molde, torna-se possível fazer a moldagem e interligar os bornes de modo perfeito. O borne já vem do fabricante completo, com uma arruela de pressão e porca, tornando-se então necessário providenciar o tipo adequado do cabo de ligação, que já é fornecido cortado, com terminais, e pode portanto ser simplesmente ligado e aparafusado, através da junta. Não se pode deixar de salientar a grande importância de serem obtidas informações de um especialista, com relação às dimensões do cabo de ligação, especialmente no que diz respeito ao método de proteção a ser aplicado e à extensão da linha a ser protegida. Por exemplo, quando se pretende proteger um trecho de 36 km de tubo de 10 mm de diâmetro, com um leito de tomada de terra de baixa voltagem, a queda de voltagem que se verifica quando se emprega um cabo de ligação de 7/0.064 será muito maior do que se a ligação fosse feita através do próprio metal do tubo, e portanto a quantia economizada na ligação seria de muito ultrapassada pelo consumo da eletricidade gasta em um ano, para vencer a resistência total das ligações. É importante portanto escolher um condutor de cobre com diâmetro e comprimento tais, que tenha um pequeno efeito de resistência cumulativa no total do circuito, compatível com uma análise econômica do sistema, tendo-se em vista que o tubo, em si, possui também um valor finito de resistência metálica. Existem outros métodos de ligação, por meio de revestimento, de perfuração e de vedação e também com o emprêgo da soldagem Termite, porém estes últimos estão caindo em descrédito, especialmente na Indústria da Água, pois o seu efeito sobre tubulações revestidas internamente é suspeito. Antes da construção de uma tubulação com proteção catódica é sempre aconselhável considerar os pontos onde serão neces-

sárias flanges isoladoras. Eles podem ser fornecidos sob a forma de conjuntos de gachetas que, quando cuidadosamente instalados são perfeitamente eficientes, ou então sob a forma de flanges pré-montados.

Estes últimos são evidentemente caros porém, sob certas circunstâncias, podem representar uma vantagem econômica, com a eliminação de problemas que ocorrem na última fase da instalação da proteção catódica. É recomendável fazer o isolamento em pontos adequados de instalações de tratamento, de instalações de bombeamento ou de reservatórios, a fim de que a corrente não se escoe para circuitos metálicos complicados e assim cause problemas posteriores. É também importante tomar precauções com relação ao isolamento de alguns "tês" situados fora do conduto principal e considerar o efeito que registros, partes descobertas e válvulas, que provavelmente não tenham revestimentos de acordo com as especificações da tubulação, possam produzir no sistema de proteção catódica.

#### Critérios de proteção

Uma grande parte dos engenheiros tem ouvido falar sobre o nível mínimo de proteção de 0,85 volts: o que tal coisa significa, é antes de tudo um mistério. De fato, esse é o potencial, referente a uma célula padrão de cobre/sulfato de cobre, até o qual o ferro ou o aço não entram em dispersão. Esse elemento é denominado de "meia célula" porque ele faz parte da metade de um circuito elétrico, sendo a outra metade circulada entre a estrutura e o respectivo eletrólito ambiente (Fig. 8). Essa meia célula especial de cobre/sulfato de cobre é usada por causa de sua fácil reprodutibilidade em

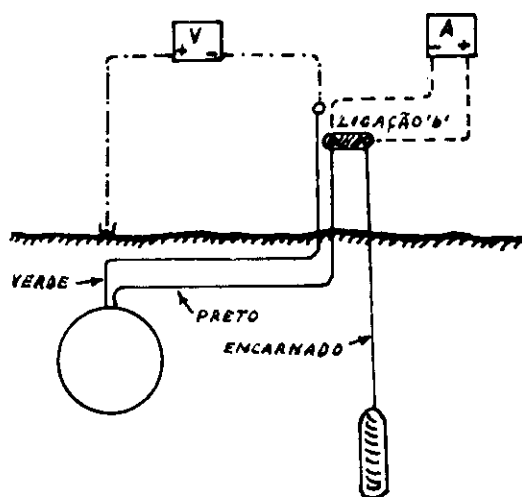


Fig. 8 — Ensaio de anodo

V = potencial do circuito

A = corrente do circuito (retirar a ligação b)

qualquer parte do mundo, pela disponibilidade das suas partes componentes. O sinal negativo tende a complicar o assunto de um certo modo, porém é bastante considerar então que qualquer valor maior do que 0,85 proporciona proteção e que valores menores do que esse não o fazem. Deve-se notar que, sob certos ambientes de corrosão severa, especialmente na presença de bactérias, é mais seguro apelar para um "potencial" mínimo de proteção" de 0,95 volts.

Se bem que isso seja tomado como uma referência padrão, algumas vezes uma variação na estrutura de 300 milivolts é também adotada como limite, apesar disso não ser muito empregado. Além disso, sabe-se que com uma variação de potencial de apenas 100 milivolts numa estrutura, a proteção catódica produzirá uma quantidade considerável de benefícios, prolongando a vida do metal, mesmo que não impeça completamente a corrosão.

Evidentemente, utilizando-se qualquer método de medida do grau de proteção obtido em uma tubulação, é necessário definir onde a meia célula deve ser colocada; isso pode ser simplesmente experimentado, situando-a tão perto quanto possível da estrutura que está sendo investigada. Em uma tubulação enterrada a meia célula é geralmente colocada diretamente acima do tubo em estudo, se bem que isso não seja necessariamente perfeitamente correto, quando se requer medidas muito precisas.

Se bem que a maioria deste artigo tenha sido dedicada à aplicação da proteção catódica a tubulações, algumas aplicações bem sucedidas tem sido efetuadas, com o emprêgo das técnicas de dispersão ou de circulação de corrente, em tanques de água e em instalações de tratamento.

As primeiras experiências indicaram que a adoção de seções entre tanques de construção tipo Braithwaite não forneciam continuidade metálica e que a proteção catódica podia apenas ser aplicada a tanques inteiramente soldados ou aos que não tivessem vedações de borracha. No entanto, muitos tanques do tipo Braithwaite têm sido agora protegidos de modo perfeitamente satisfatório, quando apresentam o tipo estrutural mais moderno, em forma hemisférica, pelo emprêgo de ânodos de dispersão, no caso de terem sido devidamente pintados ou de preferência, com o emprêgo de correntes injetadas, quando estão mal pintados. Empregam-se fios delgados de titânio platinado, que são presos à parte superior do tanque sob a forma de envoltoria, em rede aberta isolada, de tal modo que qualquer movimento dos ânodos contra as paredes do tanque, provocado pela tubulência da água, não provoque curtos entre o ânodo e a estrutura. Os ânodos são projetados para serem dispostos de tal modo que possam produzir correntes que se espalhem sobre a superfície da área molhada e que



atendam aos aspectos particulares de trabalho do tanque em questão. Geralmente são empregados pequenos carregadores de baterias, com transformadores retificadores resfriados a ar, e mesmo nos casos de tipos maiores de tanques de armazenamento de água, correntes de menos de 20 amperes são mais do que suficientes para proteger as paredes internas e o piso. Normalmente a proteção catódica não tem efeito sobre a área situada acima da água, sendo por isso recomendável, quando se dá acabamento ao tanque, empregar um tipo de tinta de alta qualidade, provavelmente de "epoxy" e alcatrão ou de borracha clorinada, sobre a superfície metálica, devidamente preparada, partindo-se do teto do tanque, estendendo-se para baixo, até cerca de 60 cm abaixo do nível médio da água.

Analogamente, a proteção catódica pode ser aplicada a instalações de estações de tratamento, geralmente por meio de suspensão de ânodos nas partes abertas, pela parte superior da estrutura. As instalações auxiliares, tais como os clarificadores, podem ser cercadas por uma faixa de proteção, sendo isso uma técnica amplamente empregada nos Estados Unidos.

#### **Manutenção**

Tendo se instalado a proteção catódica, é evidente que cuidados deverão ser adotados para que as instalações executadas funcionem com o máximo de eficiência. A adoção da proteção catódica neste país tem se processado lentamente e a execução de uma manutenção planejada e regular vem se fazendo ainda mais lentamente. Uma inspeção regular, tanto do sistema galvânico como do de corrente fornecida é procedimento altamente recomendável, uma vez que as condições locais podem mudar consideravelmente com as épocas do ano. Também tem sido constatado que cerca de 5 por cento dos postes indicativos ou das placas indicadoras, instalados especialmente com finalidades de controle, são danificados durante o ano e necessitam de

substituição ou outros cuidados. No caso das instalações de fornecimento de corrente, é importante verificar se a quantidade correta de corrente está sendo usada, tão logo o sistema tenha se estabilizado, e que portanto não esteja sendo consumida eletricidade em excesso. Ao mesmo tempo, é necessário verificar se outras quaisquer novas tubulações ou estruturas, dispostos paralelamente ou em cruzamento, em relação á que está sendo protegida, foram testadas quanto a possíveis interferências. Na realidade, com uma proteção catódica devidamente executada, torna-se essencial uma manutenção planejada.

#### **Considerações básicas**

Este trabalho teve a finalidade de indicar como a corrosão é iniciada e como a proteção catódica pode ajudar a resolver os problemas encontrados, na Indústria da Água. Deve-se considerar que a proteção catódica não é uma solução absoluta, porém é um recurso que pode ser extremamente eficaz. Neste país existem muitos trechos de tubos que já teriam indiscutivelmente sido destruídos se nenhuma proteção lhes tivesse sido aplicada, dentro dos últimos dez anos. O custo total da proteção naturalmente varia muito, porém um valor razoável está entre 0,5 a 5 por cento do custo da estrutura, para uma duração de 20 anos.

Se no fim desses vinte anos ainda existir uma estrutura praticamente nova, será sinal de que evidentemente a proteção foi bem sucedida, se bem que se deva ainda destacar que não se deve gastar dinheiro em fazer uma proteção catódica, sem que haja uma verificação e um ajustamento regulares. Os resultados mais eficientes podem ser obtidos mediante um trabalho de consulta na fase de projeto, e a técnica a ser empregada deve estar de acordo com as condições reais a serem enfrentadas, de tal modo que o sistema final de proteção catódica conduza a um efeito máximo, com um custo mínimo.