

# ENSAIO SOBRE A PROTEÇÃO GALVÂNICA NAS FUNDAÇÕES

Eng.º MILCIADES EMILIO DE MORAES (\*)

Quando se difundiu o emprêgo de estacas nas fundações em São Paulo, prevaleceu de início o emprêgo de estacas de eucaliptos.

A exigência dessas fundações era justamente em terrenos baixos (Jardim América), onde o lençol freático oscilava em cota aflorada.

A alteração da taxa de humidade junto a cabeça das estacas provocava o apodrecimento das mesmas, obrigando a obras complementares de consolidação.

Por êsse motivo, começou a se difundir o emprêgo de estacas de concreto. Estas peças de concreto armado, enterradas nos mais variados tipos de terreno, poderão por analogia sofrer os mesmos ataques que ocorrem em tubos de concreto armado usados nas canalizações de abastecimento de água. Para estas já existe uma infinidade de estudos sobre seu comportamento no ponto de vista da corrosão.

Parece-nos que caberia um estudo das estacas sob o mesmo aspecto, principalmente no caso de fundações de Casas de Força e Usinas Hidro-Elétricas, onde a presença de energia elétrica poderá produzir correntes parasitas ou exigir aterramento.

As fundações sobre estacas ou tubulões poderão ter as suas armaduras atacadas por algumas das seguintes razões:

- 1.ª) Variação ao longo de sua extensão, de algum dos seguintes elementos: composição do solo, taxa de humidade, pH, concentração de ions Cl<sup>-</sup>, aeração, resistividade de solo etc., estabelecendo zonas anódicas e catódicas.
- 2.ª) Lençol de água subterrâneo, agressivo e com certo teor de oxigênio dissolvido.

- 3.ª) Aterramento elétrico, de qualquer procedência.

Como se sabe, a camada de concreto de revestimento dessas armaduras constituem uma garantia contra sua corrosão. A união ferro, cimento sob o ponto de vista anti-corrosivo é boa, pois sendo o pH do complexo concreto armado igual a 11,6, não há condições para corrosão de ferro, pois seu potencial no concreto é da ordem de — 0,10 volts, situando-se portanto na zona de passivação do diagrama de corrosão do ferro.

Se se estabelecer um contato entre o ferro e um eletrólito que envolver o concreto, o potencial do ferro cái. Com o decorrer do tempo poderá haver lixiviação dos elementos alcalinos que compõem o concreto e com isso cair o pH em torno da armadura, criando condições para sua corrosão.

A eliminação desse processo poderá ser feito pela proteção catódica ou pela galvânica; empregando-se ânodos de magnésio ou de zinco.

A proteção galvânica é mais prática pois elimina a possibilidade de erro.

A fim de fixar idéias, podemos dar como exemplo o estudo da proteção galvânica de uma fundação apoiada em 4 estacas de concreto armado pré-moldado, com 10 metros de comprimento cada uma.

Admitindo-se que a armadura longitudinal seja constituída por 4 ferros de  $\varnothing 3/16''$  cada 15 centímetros, poderemos calcular a corrente a ser injetada para neutralizar a corrosão.

Em ensaios efetuados há alguns anos em tubos de concreto protendido na Europa, resultou que a corrente a ser impressa era da ordem de um miliampère por metro quadrado.

A polarização de — 0,85 volts em relação ao eletrodo de sulfato de cobre foi obtida decorrido mais ou menos três meses.

(\*) Engenheiro Civil da EPUSP, Diretor Técnico de Divisão — SAEC.

Para calcularmos, portanto, qual a corrente total de proteção ao conjunto das 4 estacas, teremos:

a) Superfície da armadura longitudinal:

$$S_1 = 0,0127 \times \pi \times 10,00 \times 4 \times 4 = 6,40 \text{ m}^2$$

b) Superfície dos estribos:

$$S_2 = 0,0476 \times \pi \times 1,00 \times 70 \times 4 = 4,20 \text{ m}^2$$

#### Superfície total da Armadura

$$S = 6,40 + 4,20 = 10,60 \cong 11,00 \text{ m}^2$$

A corrente total a ser injetada, prevendo-se uma proteção por 50 anos, seria:

$$E = 0,001 \times 11 \times 24 \times 365 \times 50 = 4.850 \text{ ampéres/hora}$$

Sabendo-se que 1 kg de Zn fornece teoricamente 820 ampére/hora e 1 kg de Mg 2.200 ampére/hora e que esses valores no solo nunca são alcançados, pois o seu rendimento é da ordem de 50%, optaremos pela proteção com Zn por ser bem mais barato que o magnésio.

O peso de Zn necessário seria:

$$P = \frac{4.850}{820 \times 0,5} = 11,8 \text{ kg.}$$

Sendo o peso específico do Zn 7,14 kg/dm<sup>3</sup>, o volume correspondente para a proteção é:

$$V = \frac{11,8}{7,14} \cong 1,65 \text{ dm}^3$$

Se adotarmos para proteção como ânodo, um tarugo de  $\varnothing$  10 cm, a altura do mesmo será de 21 cm.

Deve-se proteger o ânodo não só contra um excessivo ataque do solo, como ainda contra sua polarização, usando uma mistura de betonite (que dá maior grau de humidade em torno do ânodo) — de gesso hidratado (que aumenta o pH do solo, de modo que o mesmo não ataque demasiadamente o ânodo) e sulfato de sódio (que torna o solo mais condutor, melhorando a proteção das estacas).

1.º) Em caso de solos com resistividade até 3.000 Ohms/cm<sup>3</sup>, poderemos usar nessa proteção 3 partes de betonite e 1 parte de gesso hidratado.

2.º) Em caso de solos com resistividade acima de 3.000 Ohms/cm<sup>3</sup> poremos, além da

composição anterior mais uma parte de sulfato de sódio.

Na impossibilidade de medição da resistividade do solo, optaremos pela última mistura, para melhor proteção.

Além disso, para que fique garantido o contato elétrico entre os ferros longitudinais e os estribos, devem estes ser ponteados a solda. Aliás, as grandes firmas já usam esse processo de fabricação para produção em série. Deve-se ainda colocar no centro da estaca, partindo do extremo superior (ou cabeça) um ferro de  $\varnothing$  1/2" que atinja mais ou menos metade do seu comprimento.

Essa barra servirá de condutor e deverá estar bem ligada a armadura. Na sua extremidade superior será ligado a ânodo que dará a proteção (ver figura). Tendo-se em conta que a queda de tensão ao longo de um condutor isolado e mergulhado num meio eletrolítico é dado pela fórmula:

$$E = E_s e^{-x} \sqrt{\frac{r}{t}}$$

sendo:

$E_s$  = a diferença de potencial no ponto de ligação;

$E$  = a diferença de potencial a uma certa distância  $x$  do ponto de ligação;

$r$  = a resistência do condutor por unidade de comprimento;

$t$  = a resistência do seu isolamento também por unidade de comprimento.

No caso, cada barra da armadura de  $\varnothing$  1/2" a ser protegida contra a corrosão terá as seguintes características:

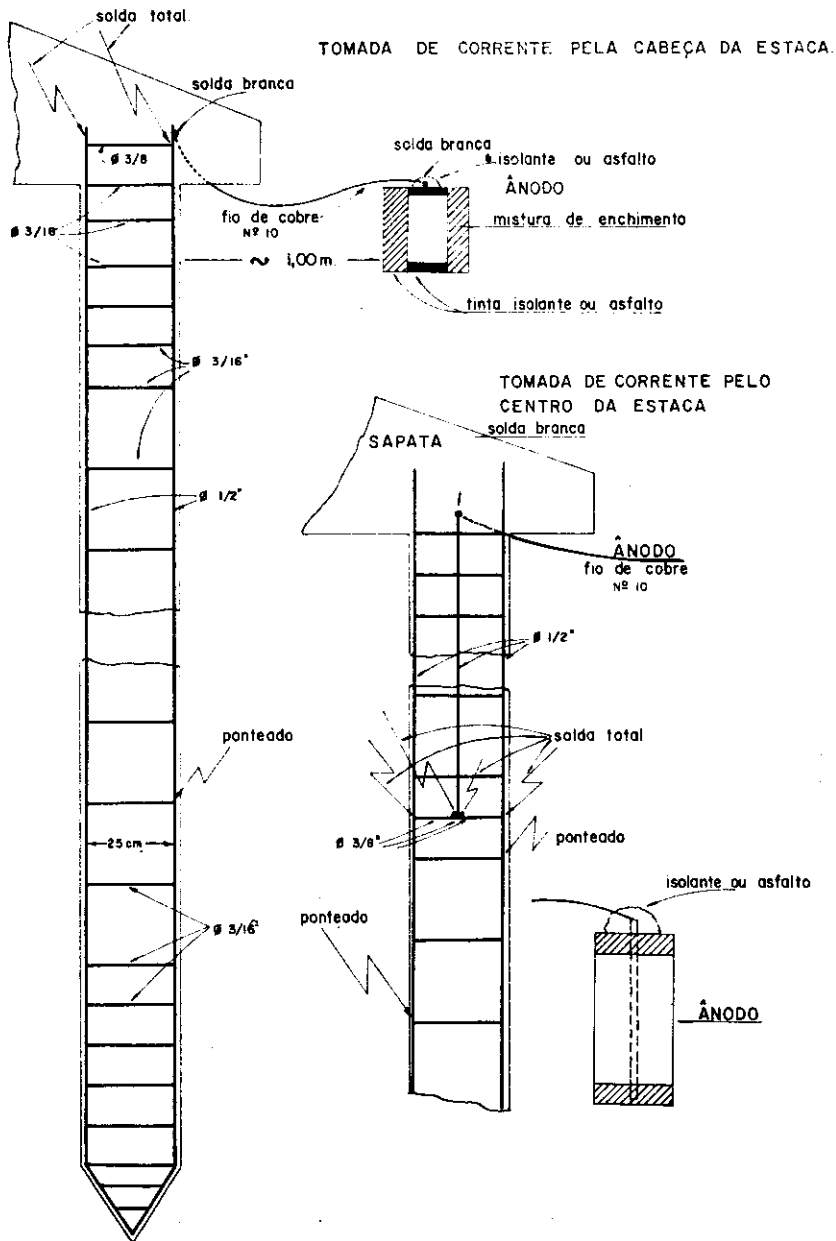
a) Resistência longitudinal da armadura por metro:

$$r \cong \frac{0,17}{127} = 13,4 \times 10^{-4} \text{ ohms/m}$$

b) Resistência longitudinal da camada de revestimento de concreto, média 2 cm de espessura:

$$t \cong \frac{20}{0,0127 \times \pi} = 500 \text{ ohm/m}^2$$

Sabe-se que a proteção de ferro contra a corrosão fica garantida desde que seu potencial seja abaixado a -0,85 volts em relação ao eletrodo de sulfato de cobre.



Se a ligação da armadura a ser protegida se fixar pelo meio da estaca, o seu potencial nas suas extremidades será:

$$E = 0,85 e^{-5} \sqrt{\frac{13,4 \times 10^{-4}}{500}} = 0,843 \text{ volts}$$

Como se vê, não há grande queda de potencial e toda a armadura estará protegida.

Se a ligação se fizer pela parte superior da estaca, teríamos:

$$E = 0,85 e^{-10} \sqrt{\frac{13,4 \times 10^{-4}}{500}} = 0,836 \text{ volts}$$

Em ambos os casos a armadura está protegida, mas para estacas muito compridas é recomendável a 1.ª solução.

Como os estribos estão mais próximos da superfície da estaca, portanto mais próximos do solo, a diferença de potencial entre o ponto de ligação e a extremidade da estaca será ainda um pouco maior.

Este exemplo é hipotético devendo-se em cada caso verificar a armadura da estaca ou tubulação, para se determinar a corrente de proteção.

Em terrenos altos, em que a resistividade ao longo da estaca é maior que 5.000 ohms/cm<sup>3</sup>

não há necessidade de proteção, salvo quando há aterramento elétrico.

No caso de se construírem estacas pre-moldadas destinadas a receber proteção galvânica, os fabricantes deverão indicar o peso do ânodo de Zn ou Mg necessário para protegê-las por determinado número de anos.

O ânodo deverá ser ligado ao ponto de tomada por um fio de cobre  $\geq$  n.º 10 colocado a 1 m ou mais da borda da sapata. O ânodo deverá ter as suas extremidades isoladas por asfalto ou qualquer outro isolante, não só para protegê-la como ainda para diminuir a superfície de emissão de corrente.

No exemplo dado, a densidade da corrente emitida pelo ânodo será:

$$S = \frac{11}{1 \times \pi \times 1,6} = 2,2 \text{ mA/dm}^2$$

A alma do ânodo deverá ser constituída por uma barra de ferro galvanizado de  $\varnothing 1/2''$ . A resistência do revestimento da estaca foi tirada por analogia à resistência do revestimento de tubos de concreto protendido, que para uma espessura mais ou menos equivalente de revestimento de armadura protendida apresentou 20 ohms/m<sup>2</sup>.

Do mesmo modo, outros tipos de peças de concreto armado podem sofrer corrosão por influência do meio ambiente. Nesta, temos a insidência dos seguintes fatores além da qualidade do solo:

a) Atmosfera: corrosão das peças pelo intemperismo; ar marítimo, industrial ou pela lavagem das águas de chuvas com alto teor de oxigênio dissolvido.

b) Aeração Diferencial: fenômeno observado quando a peça está parcialmente dentro da terra e a parte restante (dentro) na atmosfera. Temos então a chamada Pilha de Evans. Forma-se, assim, um par eletro-químico cuja corrente também poderá produzir corrosão.

Para uma proteção mais simples, neste caso, pode-se usar armaduras galvanizadas, principalmente nos postes de concreto, em rêses distribuidoras de energia elétrica, reservatórios elevados destinados ao abastecimento de água, onde o revestimento protetor da armadura é geralmente de pequena espessura.

Essas peças, geralmente sujeitas a ação da água das chuvas que têm alto teor de oxigênio dissolvido, atuando sobre essas mesmas peças podem penetrar até a armadura oxidando-a (corrosão), pondo em risco sua estabilidade. Em postes de grande altura usados atualmente na iluminação pública (xenon) poderá ser feito um estudo de proteção catódica. Idêntico cuidado deve ser tomado nas Fundações de Torres Metálicas, não protegidas por concreto, onde devemos levar em conta a Aeração Diferencial supra referida. Nestas, o oxigênio tem acesso mais fácil na parte superior; sendo que o potencial de um eletrodo de ferro em contato com o oxigênio em uma solução neutra, depende da concentração de oxigênio. A parte inferior da torre sendo menos acessível ao oxigênio por estar enterrada, funcionará como ânodo e a parte superior como cátodo. Forma-se assim uma corrente elétrica que poderá produzir uma corrosão na parte anódica, isto é, na parte enterrada onde o oxigênio não tem acesso e justamente onde não temos um controle visual das condições existentes, devendo-se então tomar as precauções para sua proteção.