

DURABILIDADE DE ESTACAS METÁLICAS CRAVADAS NO SOLO

Fabio Domingos Pannoni, Ph.D.

RESUMO: Este artigo apresenta, de forma sucinta, os mecanismos eletroquímicos envolvidos no processo de corrosão de estacas de aço e descreve, com algum detalhe, como o processo é controlado pela difusão do oxigênio no solo. Ele faz ainda um breve relato das considerações de durabilidade existentes em alguns dos mais importantes códigos internacionais e os compara com a Norma Brasileira, ora em revisão.

PALAVRAS-CHAVE: Durabilidade, Estacas, Aço, Corrosão.

1. INTRODUÇÃO

Estacas de aço têm sido utilizadas em todo o mundo há mais de 120 anos e sua durabilidade tem excedido todas as estimativas teóricas de durabilidade, especialmente em solos muito agressivos ou contaminados por produtos químicos. Não há caso relatado na literatura internacional de falha estrutural causada pela corrosão de estacas de aço.

A farta literatura disponível tem indicado que os solos naturais são tão deficientes em oxigênio que o aço não é apreciavelmente afetado pela corrosão, independentemente do tipo de solo ou de suas propriedades. Características tais como tipo de solo, drenagem, resistividade elétrica, pH ou composição química não são de valia na determinação da corrosividade de um solo.

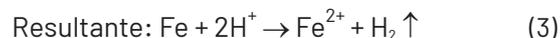
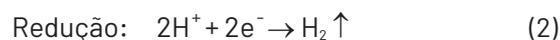
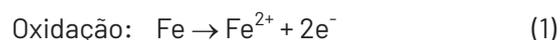
Este artigo técnico discorre sobre os mecanismos básicos envolvidos no processo de corrosão de estacas de aço cravadas no solo e de como a falta de oxigênio acaba por controlar todo o processo. O artigo relata também as exigências de sobre-espessura metálica prescritas em alguns códigos internacionais e na Norma Brasileira.

2. O MECANISMO ELETROQUÍMICO

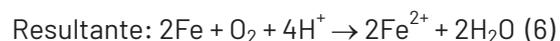
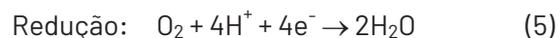
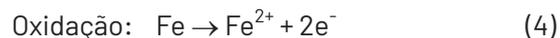
A corrosão metálica em meio aquoso é um processo fundamentalmente eletroquímico. Para que ela ocorra, reações de oxidação (p.ex., a dissolução do metal, formando íons solúveis) e reações de redução (como, p.ex., a

redução do próton ou do oxigênio) devem acontecer simultaneamente sobre a superfície metálica. As reações de oxidação liberam elétrons que, fluindo através do metal, são consumidos pelas reações de redução. As reações de oxidação e de redução estão, desse modo, conectadas pelo fluxo de elétrons no interior do metal e por um fluxo de íons no meio aquoso. Assim, todo o processo fica condicionado à existência de um eletrólito, por onde os íons possam difundir-se, e da manutenção, junto à superfície metálica, de espécies químicas que possam manter as reações de redução ativas.

Por exemplo, a corrosão do aço em soluções aquosas ácidas aeradas ($\text{pH} < 4$) pode ser descrita de modo sintético como:

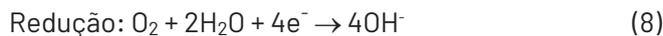
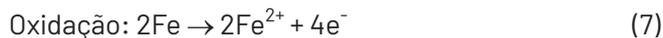


Como segundo exemplo, temos a corrosão do aço em soluções aquosas aeradas cujo pH esteja situado entre 4 e 6:



Um terceiro exemplo trata da corrosão do aço em soluções aquosas aeradas em que o

pH esteja situado entre 6 e 10:



Resultante:



Assim, a reação de dissolução metálica ($\text{M} \rightarrow \text{M}^{n+}$) é acoplada à reação catódica ($\text{O} \rightarrow \text{R}$), fornecendo a reação global:



Aqui, M corresponde ao metal, O é o oxigênio ou outro reagente oxidante (como o H^+), $n+$ é o múltiplo de carga eletrônica e R é a espécie reduzida. O processo de corrosão é, assim, descrito como duas (ou mais) reações separadas, que ocorrem em locais distintos, sobre a mesma superfície metálica (Figura 1).

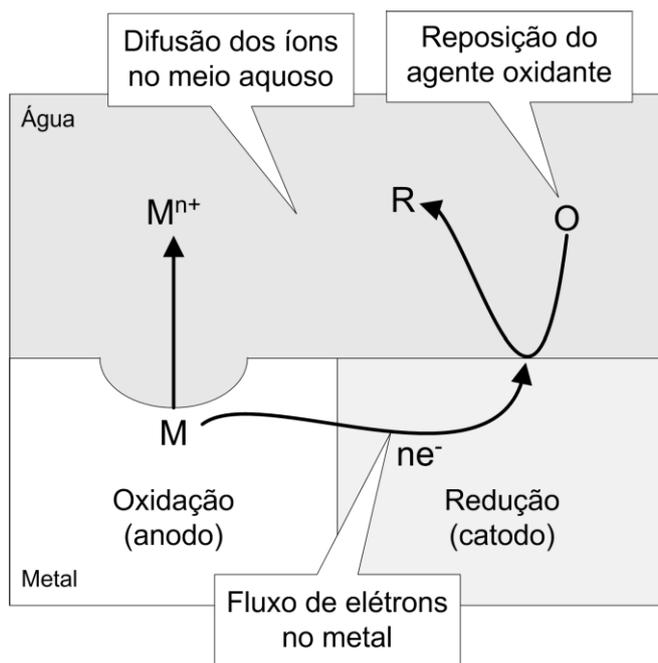


Figura 1. Esquema simplificado do processo de corrosão de um metal imerso em água, mostrando as principais reações envolvidas, a separação espacial das regiões anódica e catódica, assim como os principais fatores controladores do processo: difusão de íons no meio aquoso, difusão do agente oxidante até a região catódica e fluxo de elétrons dentro do metal.

Estas regiões distintas são conhecidas como anodo (o local onde ocorre a dissolução metálica) e catodo (o local onde ocorre a reação de redução).

Como pode ser observado na Figura 1, o metal sob corrosão é equivalente a uma bateria produtora de energia elétrica que está em curto-circuito, na qual a energia é dissipada durante o consumo do reagente catódico e a formação de produtos de corrosão.

Para a manutenção do balanço de massa, a quantidade de reagente catódico consumido deve ser igual, em termos químicos e eletroquímicos, à quantidade de produto de corrosão formado.

Como os elétrons são liberados pela reação anódica e consumidos pela reação catódica, a corrosão pode ser considerada em termos de uma corrente eletroquímica que flui da área anódica para a área catódica.

Se convenientemente registrada, esta corrente pode ser vista como uma medida da velocidade do processo de corrosão, e, portanto, a velocidade com que o aço é corroído. A corrente, conhecida como corrente de corrosão, i_{corr} , e a quantidade de material corroído estão relacionadas pela Lei de Faraday:

$$i_{corr}t = \frac{nFm}{M} \quad (11)$$

onde i_{corr} é a corrente de corrosão, (Ampères), t é o tempo (segundos) durante o qual a corrente flui, nF é o número de Coulombs requerido para converter 1 mol do metal a produtos de corrosão (onde n é o número de elétrons envolvidos na dissolução metálica e F é a constante de Faraday), M é peso molecular do metal (gramas) e m é a massa do metal corroído (gramas).

Uma consideração adicional deve ser feita a respeito da Figura 1: várias reações catódicas podem suportar, simultaneamente, a corrosão metálica. Por exemplo, em soluções ácidas oxigenadas, a corrosão do aço pode acontecer tendo como reações catódicas a redução do próton e a redução do oxigênio (Eq. 5). Em adição, quando uma liga complexa corrói, o processo é a soma de mais de um processo de dissolução anódica.

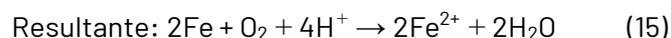
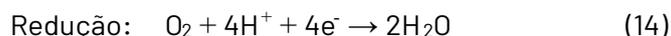
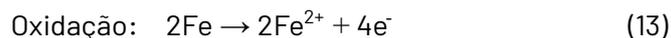
A corrente de corrosão é, assim, igual à soma das correntes parciais:

$$i_{corr} = \sum i_a = \sum i_c \quad (12)$$

3. A CORROSÃO DE ESTACAS DE AÇO

A reação global que descreve o enferrujamento de uma estaca cravada em um solo com $\text{pH} = 7$ pode ser

descrita pelas mesmas reações descritas anteriormente (eq. 7 – 9); como exemplo:



Isto também é válido para outras condições de acidez do solo, nas quais as equações 1 a 6 são aplicadas.

Desde que haja livre-trânsito dos íons no solo, teremos a combinação, na fase aquosa, dos íons Fe^{2+} e OH^- , formando o $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Havendo algum oxigênio disponível, esta espécie química será rapidamente transformada em FeOOH (ferrugem) sobre a superfície metálica. Assim, assume-se que a velocidade de corrosão seja controlada tanto pelo processo anódico quanto catódico.

Para que a corrosão aconteça, entretanto, o agente oxidante deve chegar à superfície do aço. Do mesmo modo, os produtos de reação devem ser eliminados da superfície metálica através do transporte para o interior do eletrólito, isto é, da água existente entre as partículas constituintes do solo. Se o transporte de massa dos reagentes ou produtos for lento, a concentração de espécies químicas próxima da superfície da estaca será consideravelmente diferente daquelas verificadas no seio do solo, distante da estaca.

Sob estas novas condições, as reações envolvidas no processo de corrosão acabam por consumir espécies químicas que, devido à difusão, não são repostas rapidamente. Devido modo, o processo de corrosão será totalmente controlado pelo transporte de massa.

Como a velocidade de corrosão é agora determinada pela velocidade de transporte dos reagentes até o local onde acontece a corrosão, este fluxo necessita, de algum modo, ser calculado.

Três mecanismos contribuem para o transporte de massa no interior do eletrólito: difusão, convecção e migração. Para espécies neutras tais como o oxigênio dissolvido e para espécies iônicas presentes em pequenas quantidades no solo, as contribuições da migração e da convecção são desprezíveis. O transporte ocorre, basicamente, por difusão. A descrição do transporte por difusão é feita, em geral, pelo modelo da camada de difusão de Nerst (uma simplificação da Equação de Fick), que postula que o volume de eletrólito pode ser dividido em duas regiões (Figura 2).

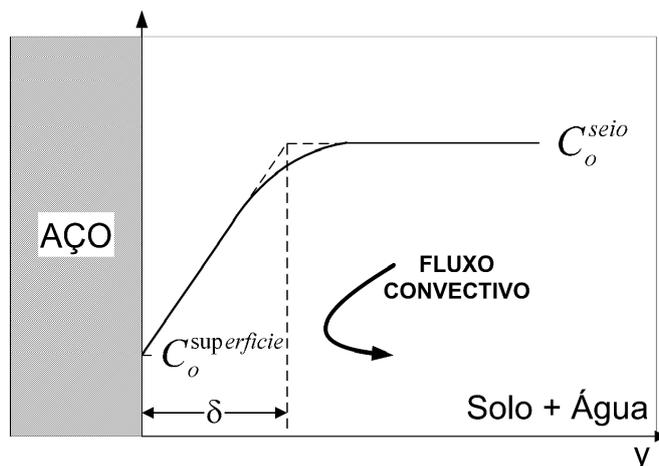


Figura 2: Perfil concentração-distância para o reagente catódico O, exaurido na superfície da estaca de aço. A linha sólida mostra o tratamento de Fick, e a linha tracejada indica a aproximação conhecida como "Camada de Difusão de Nerst".

O oxidante (O) será transportado à uma velocidade que é proporcional ao gradiente do perfil concentração-distância. Este é o postulado da primeira lei de Fick, que se aplica sob condições de equilíbrio, isto é, a concentração do oxidante e o gradiente de concentração são constantes com o tempo:

$$J = -D \left(\frac{\partial C_o}{\partial x} \right) \quad (16)$$

onde J é o fluxo, D é a constante de proporcionalidade conhecida como coeficiente de difusão e C_o é a concentração no ponto x. A linha contínua na Figura 2 representa o perfil de concentração calculado pela Lei de Fick.

Uma análise simplificada pode ser obtida através da linearização do perfil concentração-distância, de acordo com o tratamento conhecido como camada de difusão de Nerst (representado pela linha tracejada na Figura 2). A resistência ao transporte de massa acontece dentro da camada de difusão e a linearização fornece uma clara demarcação na distância d a partir da superfície metálica, de modo que, para $x > \delta$, a concentração do oxidante no solo é mantida por processos de convecção (que não ocorrem de modo apreciável). Em contraste, para $x \leq \delta$, o reagente O é transportado até a superfície somente por difusão.

Utilizando o tratamento simplificado, a eq. (16) pode ser escrita como:

$$J = \frac{-D(C_o^{\text{superfície}} - C_o^{\text{seio}})}{\delta} \quad (17)$$

onde $C_0^{\text{sup. superfície}}$ é a concentração do reagente (catódico) na superfície $x = 0$ e C_0^{seio} é a concentração para $x \leq \delta$. Para que o estado de equilíbrio seja mantido, todo o reagente transportado deve reagir eletroquimicamente, gerando uma corrente:

$$\frac{i_{\text{catódico}}}{nF} = \frac{-D(C_0^{\text{sup. superfície}} - C_0^{\text{seio}})}{\delta} \quad (18)$$

Sob a condição limite $C_0^{\text{sup. superfície}} \rightarrow 0$, uma corrente máxima é obtida:

$$(i_{\text{catódico}})_{\text{limite}} = \frac{nFD_0C_0^{\text{sup. superfície}}}{\delta} \quad (19)$$

Como esta é a máxima corrente catódica que pode fluir, ela também representa a máxima velocidade de corrosão que pode ser atingida:

$$(i_{\text{corrosão}})_{\text{max}} = (i_{\text{catódico}})_{\text{limite}} = \frac{nFD_0C_0^{\text{sup. superfície}}}{\delta} \quad (20)$$

A equação acima indica que, para uma reação catódica controlada pelo transporte de massa, a velocidade é diretamente proporcional à concentração do reagente catódico e é inversamente proporcional à espessura da camada de difusão, que é determinada pela velocidade do fluido.

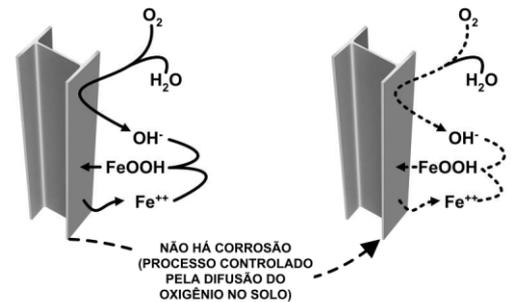
Um ponto fundamental, já visto anteriormente, deve ser ressaltado: para que a corrosão da estaca aconteça, em solos cujo pH esteja situado entre 4 e 10 (isto é, quase que a totalidade dos solos naturais encontrados), torna-se necessária a presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de um deles, a corrosão não acontecerá.

É justamente esta a situação verificada na quase totalidade dos solos naturais encontrados: a concentração de oxigênio é tão pequena abaixo do primeiro metro de solo que a velocidade de corrosão torna-se ínfima. Este é o motivo pelo qual os resultados experimentais disponíveis tem revelado que o aço não é apreciavelmente afetado pela corrosão, independentemente do tipo de solo ou de suas propriedades. Na condição específica e incomum de solos com $\text{pH} < 4$, a baixa concentração de oxigênio no solo não é mais empecilho ao ataque, visto que ele agora independe da existência do oxigênio. Estacas imersas em solos com esta condição, independentemente da sua constituição, aço ou concreto, necessitarão de proteção contra o ataque corrosivo.

A Figura 3 ilustra o comportamento das estacas de aço imersas em solos com diferentes pH's.

É importante ressaltar que a adição de cobre aos aços estruturais não parece ter qualquer efeito apreciável na redução da velocidade com que são corroídos quando imersos no solo ou na água (Morley e Bruce 1983). Desse modo, não se justifica o uso de aços estruturais resistentes à corrosão atmosférica, como os aços patináveis, em estruturas enterradas.

Solos com $4 < \text{pH} < 10$



Solos com $\text{pH} < 4$

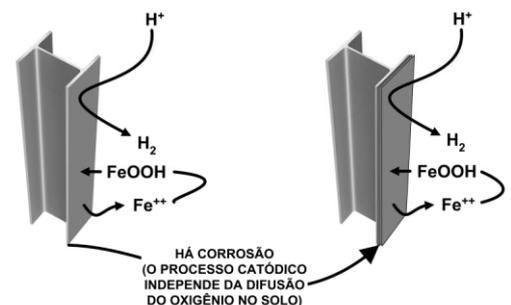


Figura 3: Ilustração do comportamento das estacas de aço imersas em solos com diferentes pH's. Estacas imersas em solos com $\text{pH} > 4$ não apresentam corrosão, pois dependem da difusão de oxigênio no solo, que é muito pequena. Por outro lado, estacas (de aço ou concreto) imersas em solos com $\text{pH} < 4$ apresentam corrosão, pois a reação catódica independe da difusão do oxigênio.

4. PRESCRIÇÕES NORMATIVAS

A corrosão de estacas de aço cravadas no solo tem sido estudada extensivamente (Bjerrum 1957, Booth et al. 1967, Bruce 1979, Morley 1977, Morley e Bruce 1978c, Steel Bearing Piles Guide 1977, Trethwey 1988). Uma revisão abrangente, feita por Morley (1978a), utilizando dados obtidos na Inglaterra e em vários outros países, conclui que, a menos que o solo seja extremamente ácido ($\text{pH} < 4$), a corrosão de estacas cravadas em solos naturais é desprezível, independentemente do tipo de solo e de suas características. O pequeno ataque é atribuído aos baixos níveis de oxigênio presentes nos solos naturais.

As conseqüências práticas destas observações podem ser encontradas nas prescrições de durabilidade de códigos internacionais, tais como a BS 8004 (1986), o Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993) e o International Building Code (2001) Norte-Americano, que serão detalhados a seguir.

4.1 BS 8004:1986 “British Standard Code of Practice for Foundations”

A Norma Inglesa BS 8004 (1986), em sua mais recente versão, afirma que a velocidade de corrosão de estacas de aço cravadas em solos naturais, incluindo solos de praias, rios, lagos, mar, enseadas e portos, é muito pequena, independentemente do tipo de solo encontrado. Propriedades do solo tais como composição química, resistividade, potencial redox e pH não são de ajuda na previsão da velocidade de corrosão do aço. Ao contrário, seu uso parece acarretar uma superestimativa das velocidades de corrosão.

A Norma cita um grande número de resultados experimentais, como Romanoff (1957), Shreir (1976), Morley (1978b), Beckwith (1979), Eadie (1979), Eadie e Kinson (1980) e Morley e Bruce (1983). A leitura destes artigos mostra que, em muitos casos, a espessura residual da estaca de aço cravada em solos naturais se encontra dentro das tolerâncias das espessuras de laminação, mesmo após muitas décadas de serviço.

A BS 8004 (1986) cita que a melhor estimativa que pode ser feita para a velocidade de corrosão implica em perdas de espessura de 1 mm a 2 mm em 100 anos de uso, e, em tais circunstâncias, o uso de sistemas de proteção não podem ser justificados.

Em solos que sofreram algum tipo de manuseio (p.ex., aterros recentes), o uso do potencial de oxiredução, da resistividade do solo e de seu valor de pH pode ser de alguma utilidade na previsão das velocidades de corrosão, desde que haja alguma experiência prévia da velocidade de corrosão naquele local para “calibrar” as medidas efetuadas no solo. Romanoff (1957) e Booth et al.(1967) mostram as premissas básicas, transcritas na Tabela 1.

Deve ser enfatizado que o emprego da Tabela 1 é restrito aos aterros recentes e solos que, por alguma razão, foram oxigenados.

Tabela 1. Valores de resistividade e potencial redox de solos revolvidos (p.ex., aterros recentes).

	Solos agressivos	Solos não agressivos
Resistividade, Ω .cm e/ou	< 2000	>2000
Potencial redox, em pH = 7 (vs.EPH)	< 0,400 ou < 0,430 (seargila)	> 0,400 ou > 0,430 (seargila)
Casos próximos da linha divisória podem ser enquadrados pela medida do teor de água (% em massa) no solo	> 20	< 20

4.2 ENV 1993-5 “Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling”

O Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993) indica que a espessura a ser descontada da estaca é função das características do solo e da vida útil de projeto da fundação. A Tabela 2 traz a prescrição do Eurocode.

Considera-se que as velocidades de corrosão de aterros compactados sejam menores do que as encontradas em aterros não compactados, onde o teor de oxigênio é muito superior. Assim, os valores prescritos na Tabela para aterros devem ser divididos por dois, caso o aterro seja considerado compactado.

É importante ressaltar que o Eurocode reúne a experiência prática de muitos países europeus, com diferentes condições de clima e solos, o que torna seu uso extremamente abrangente e confiável.

Os valores apresentados para 5 e 25 anos são baseados em medidas, enquanto que os outros valores apresentados são extrapolações.

Pode-se notar uma sensível diminuição da espessura de aço deixada como sacrifício, quando comparamos à prescrição dada pela BS 8004 (1986).

Tabela 2: Perda de espessura (mm) devido à corrosão, para estacas de aço cravadas em solos, independentemente do nível do lençol freático.

Vida útil requerida de projeto	05 anos	25 anos	50 anos	75 Anos	100 anos
Solos naturais (areia, silte, argila, etc.)	0	0,3	0,6	0,9	1,2
Solos naturais poluídos e aterros industriais	0,15	0,75	1,5	2,25	3
Solos naturais agressivos (pântanos, turfa, etc.)	0,2	1	1,75	2,5	3,25
Aterros não compactados e não agressivos (argila, areia, silte, etc.)	0,18	0,7	1,2	1,7	2,2
Aterros não compactados agressivos (cinzas, escórias, etc.)	0,5	2	3,25	4,5	5,75

4.3 International Building Code 2000

O International Building Code 2000 (2001) norte-americano não faz nenhuma referência à corrosão da estaca cravada no solo. O desconto de espessura não é considerado, pois se considera que a estaca de aço não sofra corrosão quando totalmente imersa em solos naturais.

A prática construtiva norte-americana está baseada em uma extensa pesquisa feita pelo National Institute of Science and Technology - NIST que realizou um extenso conjunto de ensaios entre os anos de 1910 e 1955.

Romanoff (1957) publicou em 1956 um relatório em que descreve resultados de ensaios efetuados com mais de 36.500 corpos-de-prova, representando 333 variedades de materiais ferrosos, não-ferrosos e materiais de proteção expostos em 128 diferentes locais nos Estados Unidos, compreendendo desde solos arenosos bem drenados até argilas muito compactadas, com resistividades que variaram de 300 $\Omega \cdot \text{cm}$ a 50.200 $\Omega \cdot \text{cm}$ e pH entre 2,3 a 8,6.

Os dados confirmam que os solos naturais são tão deficientes em oxigênio que o aço não é afetado pela corrosão, independentemente do tipo de solo e suas propriedades.

O código norte-americano impõe, por outro lado, condições geométricas às estacas (p.ex., espessura mínima de alma, etc.), que devem ser satisfeitas.

4.4 LRFD Design Specifications for Highway Bridges da AASHTO

O projeto de fundações segundo o código LRFD Design Specifications for Highway Bridges (1994) da AASHTO considera numerosos fatores que afetam a capacidade axial da estaca e que devem ser avaliados no projeto.

Algumas poucas exigências de ordem geométrica, válidas para as estacas H em aço, devem ser observadas: a alma deve possuir uma espessura mínima de 10 mm e as talas de conexão devem possuir uma espessura mínima de 9,5 mm. Estas mesmas exigências ocorrem no International Building Code 2000.

A AASHTO considera que as estacas de aço cravadas em solos naturais não são afetadas pela corrosão, e, portanto, nenhuma proteção especial é necessária. A corrosão localizada, por pites, pode ocorrer na parte superior da estaca, em certos solos aerados. Entretanto, estas áreas são normalmente protegidas da corrosão através do emprego dos blocos de coroamento, em concreto.

O código apresenta, à semelhança do Eurocode, certas condições do solo que são indicativas de sua possível agressividade:

1. Solos com resistividades menores do que 100 $\Omega \cdot \text{mm}^{-1}$;
2. Solos com $\text{pH} < 5,5$;
3. Solos com $5,5 < \text{pH} < 8,5$ que contenham alto teor de matéria orgânica;
4. Solos com $[\text{SO}_4^{2-}] > 0,10 \%$;
5. Aterros recentes ou solos contendo cinzas;
6. Solos sujeitos à drenagem de minas ou de drenagem de indústrias;
7. Misturas de solos altamente alcalinos, de alta e baixa resistividade

Como resposta, temos que as estacas cravadas em solos naturais não necessitam de qualquer tipo de proteção (incluindo sobre-espessura). Para solos que possuam uma ou mais das condições descritas acima, torna-se necessária uma avaliação técnica de modo a definir o melhor modo de proteção requerido (p.ex., pintura, proteção catódica, etc.).

É importante ressaltar que estas condições válidas tanto para o aço quanto para o concreto.

4.5 NBR 6122: 1996 “Projeto e Execução de Fundações”

A Norma Brasileira NBR 6122 (1996) prescreve que as estacas de aço devem resistir à corrosão pela própria natureza do aço ou por tratamento adequado. Do mesmo modo que os códigos internacionais, ela indica que as estacas, quando enterradas em solos naturais, independentemente da situação do lençol freático, dispensam qualquer tratamento especial – uma visão compartilhada pelo código norte-americano.

Entretanto, no parágrafo 7.8.2.3.2., ela afirma que “Quando a estaca trabalhar total e permanentemente enterrada em solo natural, deve-se descontar da sua espessura 1,5 mm por face que possa vir a entrar em contato com o solo, excetuando-se as estacas que dispõem de proteção especial de eficiência comprovada à corrosão.”

Embora não existam registros claros da origem desta imposição, ela parece ser oriunda do código inglês, visto anteriormente.

É importante ressaltar que a BS 8004 (1986) utiliza, nesta prescrição, dados provenientes da Inglaterra e também de outros países. Foram incorporados alguns dados japoneses (Osaki 1982), obtidos em alguns solos especialmente ácidos ($\text{pH} < 4$). Assim, o valor sugerido para o desconto de espessura prescrito pela BS 8004 (1986) é, sabidamente, exagerado. O Eurocode, que também considera estes dados obtidos no Japão, traz um enfoque mais realista: um conjunto muito grande de dados foi analisado, e os dados obtidos naquela região específica do Japão acabaram sendo “diluídos” no grande conjunto de dados considerado.

5. CONCLUSÕES

Estacas de aço cravadas no solo apresentam enorme durabilidade devido à baixa concentração e difusividade do oxigênio nos solos naturais. Assim, o controle do processo de corrosão é dado pelo transporte de massa (do oxigênio) até a superfície metálica, limitando o processo de redução catódica.

Alguns dos mais importantes códigos normativos internacionais consideram que a corrosão da estaca, em solos naturais, é muito pequena, ou mesmo inexistente: o código norte-americano não prescreve sobre-espessura; o Eurocode apresenta uma tabela onde é apresentada a sobre-espessura a ser aplicada, que é função das características do solo e da vida útil de projeto da fundação.

A comparação dos códigos internacionais analisados com a Norma Brasileira indica a aplicação, no Brasil, de uma grande sobre-espessura de aço (1,5 mm), não havendo resultados experimentais locais que justifiquem esta exigência.

A NBR 6122 (1996) passa, atualmente, por um período de revisão. O autor sugere que a comissão encarregada desta revisão considere a discussão da adoção de exigências de sobre-espessura consagradas internacionalmente.

REFERÊNCIAS

- Beckwith, N.R. (1979). “Corrosion Test Programme of Steel Piles in River Murray Swamp Land South Australia”, Engineering and Water Supply Dept., South Australia.
- Bjerrum, L. (1957). “Norwegian Experiences with Steel Piles to Rock”, Geotechnique, Vol. 7, p. 73.
- Booth, G.H., Cooper, A.W. e Wakerley, D.S. (1967). “Criteria of Soil Aggressiveness Towards Buried Metals – Part I, II e III” British Corros. J., 2, May.
- Bruce, D.W. (1979): “Corrosion of Steel Piles at BTP Tioxide Site at Hartlepool”, Technical Note No T/CS/TN/19/79/D, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- BS 8004 (1986) “British Standard Code of Practice for Foundations”, British Standards Institution, Milton Keynes, UK.
- Eadie, G.R. (1979). “The Durability of Steel Piles in Soils”, Broken Hill Proprietary Co. Ltd., Melbourne Research Laboratories.
- Eadie, G.R. e Kinson, K. (1980). “Examination of Steel Piling Recovered From Port Adelaide After 52 Years Service”, Broken Hill Proprietary Co. Ltd., Melbourne Research Laboratories.
- Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium.
- International Building Code 2000 (2001), International Code Council, Falls Church, Virginia, USA.
- LRFD Design Specifications for Highway Bridges (1994). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C..

- Morley, J. (1977). "A Corrosion Examination of Extracted Larssen Piles", Report T/CS/906/3/77/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. (1978a). "A Review of the Underground Corrosion of Steel Piling", Report T/CS/1114/1/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J (1978b). "A Corrosion Examination of Extracted Piles from Beach Groynes", Report T/CS/906/6/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. e Bruce, D.W. (1978). "A Corrosion Examination of an Extracted H-Bearing Pile: Scotswood Bridge", Report T/CS/906/5/78/C, British Steel Technical, Teesside Laboratories.
- Morley, J. e Bruce, D.W. (1983). "Survey of Steel Piling Performance in Marine Environments", ECSC Sponsored Research Contract No. 7210, KB/804, BSC Ref. No. 597 - 811.
- NBR 6122 (1996) "Projeto e Execução de Fundações", Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.
- Osaki, Y. (1982). "Corrosion of Steel Piles Driven in Soil Deposits", Soil and Foundations, Vol. 22, No. 3, September.
- Romanoff, M. (1957). "Corrosion of Steel Piling in Soil", National Bureau of Standards, Monograph No. 58, US Dept. of Commerce, Washington, DC.
- Shreir, L.L. (1976). "Corrosion - 2nd. Ed.", Newnes- Butterworths, London.
- Steel Bearing Piles Guide (1997). Publication Number P156, The Steel Construction Institute.
- Trethewey, K.R. e Chamberlain, J. (1988). "Corrosion for Students of Science and Engineering", Longman Scientific & Technical, Harlow (UK).



/g2base



@g2.base

www.g2base.com.br


O futuro se molda

