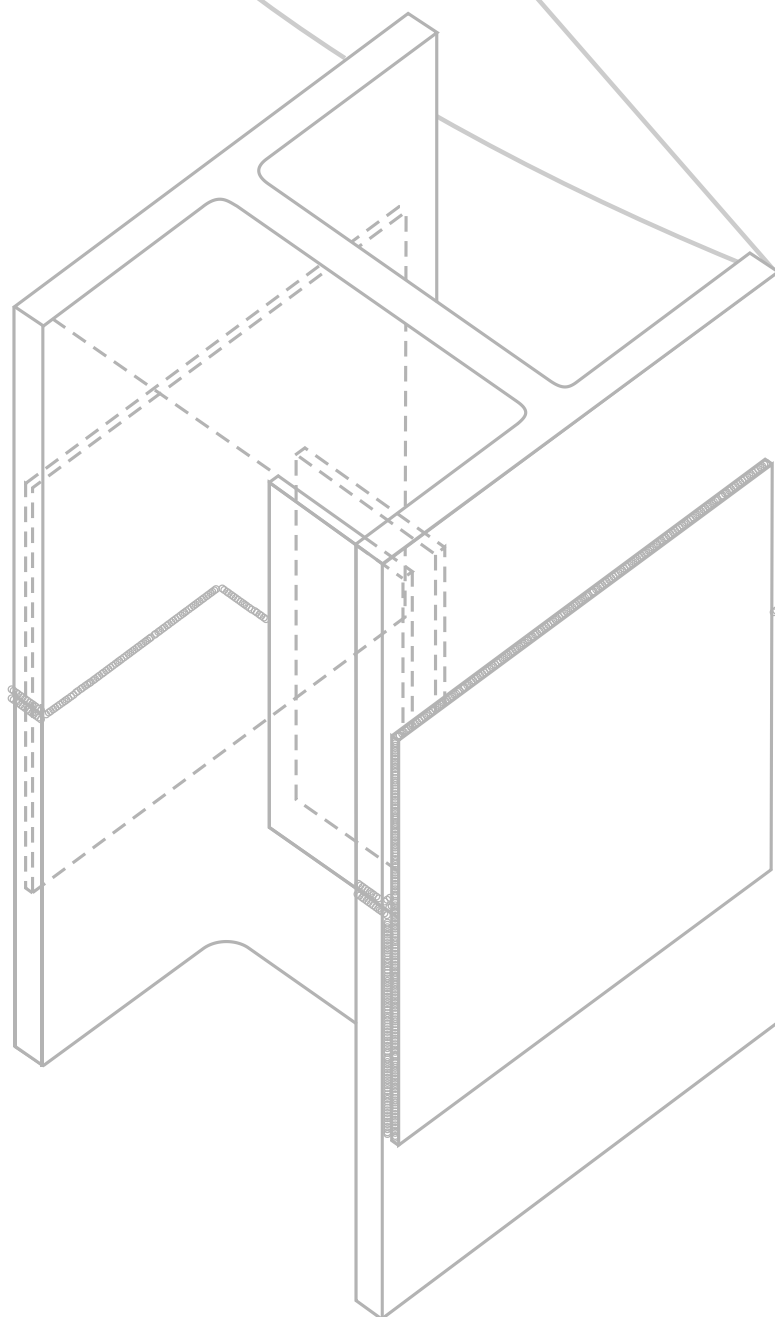


**COLETÂNEA DO
USO DO AÇO**

ESTACAS METÁLICAS GERDAU



3ª Edição

2008

PERFIS
GERDAU AÇOMINAS

Consultoria:

Urbano Alonso Consultoria e Projetos Ltda.

Realização:

Equipe Técnica Gerdau Açominas

Fabio D. Pannoni

Fernando Ottoboni Pinho

Ronaldo do Carmo Soares

Esta é a 3a edição da Coletânea do Uso do Aço da Gerdau Açominas, inicialmente lançado em 2006 quando o corpo técnico de nossa empresa criou o conceito de “Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade”. Tal conceito veio fornecer mais uma solução técnica e econômica para as fundações profundas executadas em nosso País, principalmente nas regiões da costa litorânea onde o solo se apresenta com espessas camadas de argilas moles intermediadas por camadas de areias finas siltosas medianamente compactas a muito compactas.

Dando continuidade às pesquisas técnicas ao longo destes dois anos, a Gerdau Açominas continuou investindo em mais provas de cargas estáticas e, também, em ensaios de carregamento dinâmico, a fim de melhor entender o comportamento carga-recalque destas estacas, em particular quanto à transferência de carga por adesão e pela ponta das mesmas. Estas provas de carga, hoje com um total de 41, fazem parte de um Banco de Dados que está à disposição dos profissionais interessados em estudar este tipo de estacas bastando para tanto contatar a equipe técnica da Gerdau Açominas pelo e-mail: perfis@gerdau.com.br. Nesta 3a Edição divulgamos todas essas provas de carga, que face ao seu grande número são aqui apresentadas de forma resumida.

Concomitantemente com as provas de carga estática, também se realizaram instrumentações, com “strain gages” que nos fornecerem subsídios importantes e nos mostraram como se procede a transferência de carga, não só pela adesão, mas principalmente pela ponta da estaca, mostrando que quando a mesma se situa em solos pouco portantes não vale a proposição dos atuais métodos brasileiros de considerar como área da ponta aquela correspondente à área envolvente da seção do perfil. Isto só se mostrou válido no caso em que a ponta da estaca atinge solo de alta resistência ou alteração de rocha.

Nomenclatura.....	7
1 Introdução	9
2 Aplicações e Características das Estacas Mistas.....	13
3 Corrosão	17
4 Dimensionamento Estrutural	21
4.1 - Flambagem.....	23
4.2 - Capacidade de Carga Estrutural.....	25
5 Capacidade de Carga Geotécnica	27
6 Conceito de “Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade”	33
7 Detalhes da Emenda dos Perfis.....	37
8 Ligação dos Perfis ao Bloco de Coroamento	41
1º Caso - Estacas Comprimidas	43
2º Caso - Estacas Tracionadas.....	44
9 Controles da Capacidade de Carga	45
9.1 - Durante o Processo de Cravação	47
9.2 - Provas de Carga Estática.....	50
10 Casos de Obras.....	51
11 Blocos de Coroamento	61
12 Anexos.....	67
Anexo I - Tabela de Bitolas.....	69
Anexo II - Transcrição do artigo “Durabilidade de Estacas Metálicas Cravadas no Solo” publicado no SEFE VI	72

NOMENCLATURA

Designação	Descrição	Unidade
b_f	Largura da aba do perfil	L
c	Velocidade de propagação da onda em estacas	LT^{-2}
d	Altura da seção transversal do perfil	L
e	Distância entre eixos de estacas	L
f_u	Limite de resistência do aço	$F.L^{-2}$
f_y	Limite de escoamento do aço	$F.L^{-2}$
h	Altura de bloco	L
r_x	Raio de giração no eixo X-X	L
r_y	Raio de giração no eixo Y-Y	L
r_l	Adesão média solo-estaca, na ruptura	$F.L^2$
r_p	Resistência unitária (à ruptura) do solo sob a ponta da estaca	$F.L^2$
s	Nega da estaca	L
t_f	Espessura da aba (mesa) do perfil	L
t_w	Espessura da alma do perfil	L
A	Área do retângulo envolvente à seção transversal da estaca	L^2
A_p	Porcentagem da área A a adotar na capacidade de carga da estaca	L^2
A_s	Área da seção transversal do perfil	L^2
A'_s	Área útil da seção transversal do perfil (deduzida a corrosão)	L^2
C_2	Deformação elástica do fuste da estaca	L
C_3	Deslocamento elástico do solo sob a ponta da estaca	L
E	Módulo de elasticidade do material da estaca	$F.L^{-2}$
G	Módulo de elasticidade transversal do material da estaca	$F.L^{-2}$
I_x	Momento de inércia no eixo X-X da seção transversal da estaca	L^4
I_y	Momento de inércia no eixo Y-Y da seção transversal da estaca	L^4
L_{fl}	Comprimento de flambagem	L
K	Repique	L
P	Carga estrutural admissível das estacas	F
PL	Carga de ruptura por atrito lateral ao longo do fuste da estaca	F
PP	Carga de ruptura do solo sob a ponta da estaca	F
PR	Carga de ruptura do solo que dá suporte a uma estaca	F
W_x	Módulo resistente no eixo X-X da seção transversal da estaca	L^3
W_y	Módulo resistente no eixo Y-Y da seção transversal da estaca	L^3
β	Coefficiente de dilatação térmica linear	$^{\circ}C$
γ	Peso específico	$F.L^{-3}$
γ_f	Coefficiente de ponderação das resistências	-
γ_p	Coefficiente de ponderação das ações	-
η_h	Constante do coeficiente de reação horizontal	$F.L^{-3}$
λ	Índice de esbeltez	-
ν	Coefficiente de Poisson do material da estaca	-

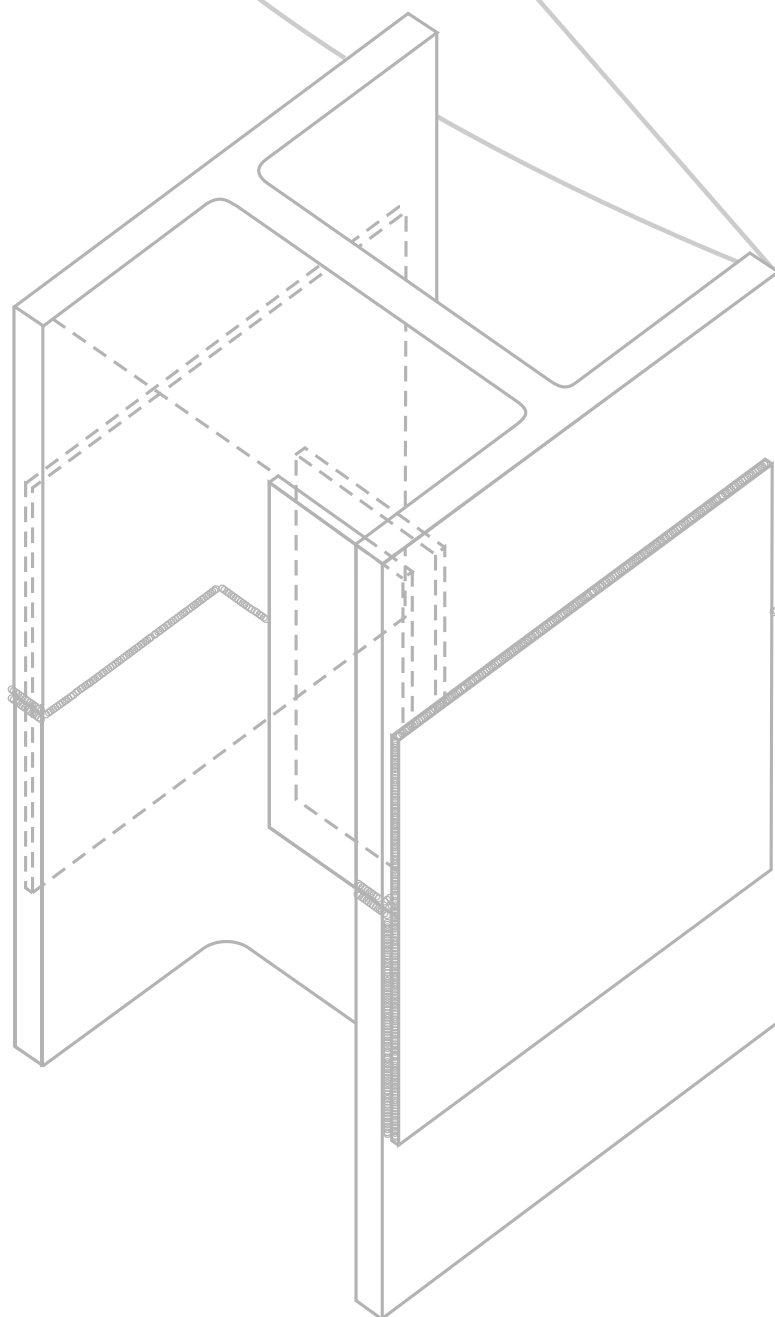
L = comprimento (mm, cm, m) F = força (N, kN, kgf, tf)

Tabela 1: Características do aço ASTM A 572 Grau 50

Limite de escoamento (f_y)	345 MPa = 3,5 tf/cm ²
Limite de resistência (f_u)	450 MPa = 4,5 tf/cm ²
Módulo de elasticidade (E)	205.000 MPa = 2.090 tf/cm ²
Coeficiente de Poisson (ν_a)	0,3
Módulo de elasticidade transversal (G)	77.200 MPa = 787 tf/cm ²
Coeficiente de dilatação térmica linear (β)	1,2x10-5 / °C
Peso específico (γ)	77 kN/m ³ = 7,85 tf/m ³

1

INTRODUÇÃO



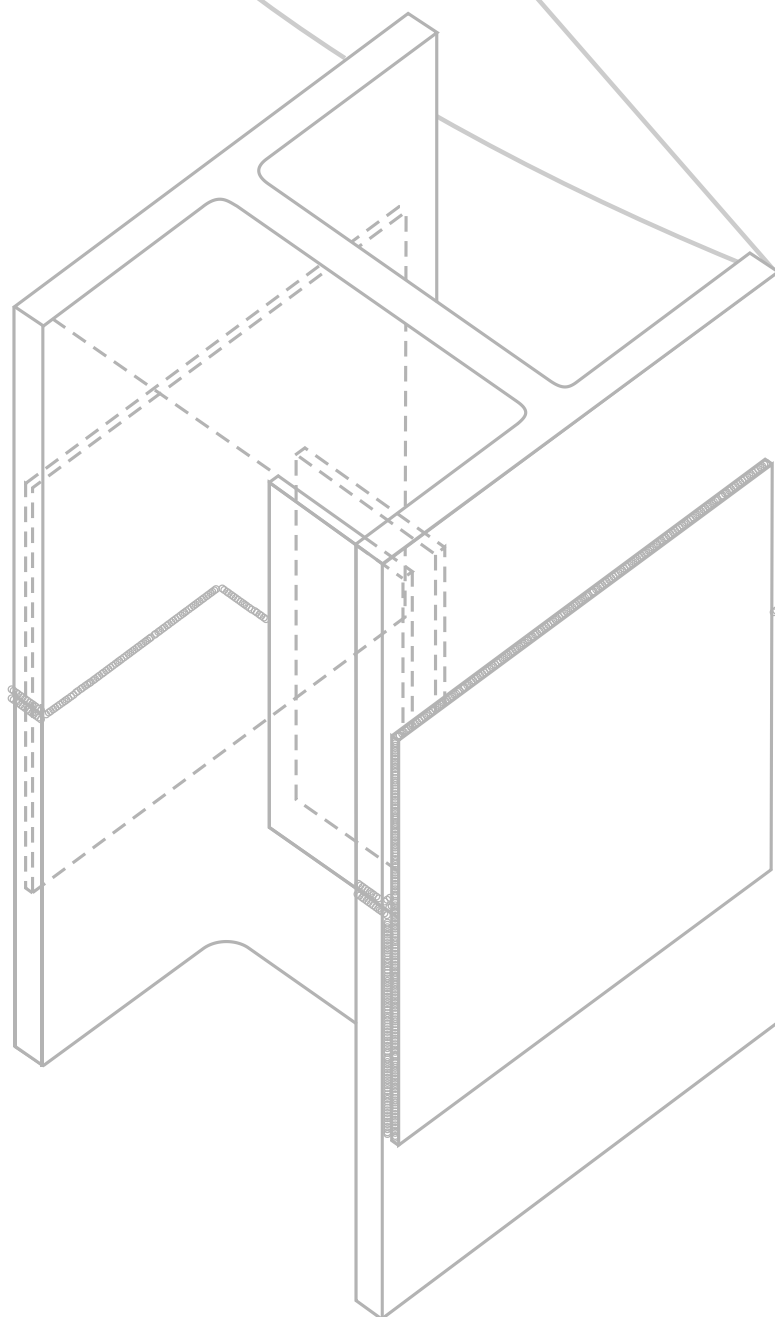
Até 2002 as estacas metálicas eram utilizadas principalmente nas estruturas de contenção (perfis metálicos associados a pranchas de madeira ou pré-fabricadas de concreto) e nos pilares de divisa, com o objetivo de se eliminar as vigas de equilíbrio. Também no caso em que se queriam reduzir as vibrações decorrentes da cravação de estacas de deslocamento (estacas pré-moldadas de concreto, estacas do tipo Franki, estacas tubulares, etc), as estacas metálicas sempre foram consideradas como solução de alta eficiência. O mesmo se pode dizer quando é necessário atravessar lentes de pedregulhos ou concreções (laterita, limonita, etc).

Com a introdução dos Perfis Gerdau Açominas, esse cenário passou a ser gradualmente transformado e, hoje, decorridos seis anos, as estacas metálicas para fundações profundas já são uma realidade, competindo técnica e economicamente com os demais tipos de fundações.

Isto se deve ao fato de que os Perfis Gerdau Açominas, ao contrário do que era praxe até 2002, são produzidos em aço laminado de alta resistência (ASTM A 572 Grau 50) e com abas paralelas que facilitam ligações. Mas além destas características o grande "salto" foi a ampla variedade de bitolas oferecidas pela Gerdau Açominas para Perfis de uma mesma família (aqueles cujas bitolas são de mesma altura nominal, com variações na espessura de alma e abas) que permitiu a criação das Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade. Ou seja, com base nas características dos Perfis Gerdau Açominas, é possível criar estacas metálicas compostas com Perfis de um mesmo grupo, com seção transversal variável em função da profundidade. O conceito é relativamente simples e estabelece que a seção transversal pode ser reduzida com a profundidade em função da carga resultante na estaca, que vai diminuindo em razão da transferência de carga para o solo, por atrito lateral. Essa solução, que oferece uma significativa redução no peso médio das estacas, se apresenta como alternativa técnico-econômica às fundações profundas, onde tradicionalmente se utilizam estacas escavadas (estacões e barretes), estacas raiz, estacas pré-moldadas de concreto com emenda soldada e trilhos (novos e usados).

O conceito das fundações em estacas metálicas de seção transversal decrescente com a profundidade é especialmente abordado no item 6.

APLICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS METÁLICAS



2.1 - Aplicações

Como elementos de fundação as estacas metálicas têm aplicação destacada nas construções industriais, em edifícios de andares múltiplos, pontes e viadutos, portos e torres de transmissão. Nas estruturas de contenção têm papel preponderante em função da facilidade de cravação, de sua alta resistência e da versatilidade de integração com elementos construtivos complementares.

2.2 - Vantagens

São inúmeras as razões para sua utilização, quando comparadas com outros tipos, entre as quais ressaltamos:

- Reduzido nível de vibração durante sua cravação, quer seja com martelos de queda livre ou com os modernos martelos hidráulicos
- Possibilidade de cravação em solos de difícil transposição como, por exemplo, argilas rijas a duras, pedregulhos e concreções (laterita, limonita, etc) sem o inconveniente do "levantamento" de estacas vizinhas já cravadas (como ocorre, por exemplo, no caso das estacas pré-moldadas de concreto e Franki) e sem perdas de estacas "quebradas" que oneram não só o estaqueamento como os blocos que deverão ser redimensionados (aspectos de custo e prazo)
- Resistência a esforços elevados de tração (da ordem de grandeza da carga de compressão, exceto quando as estacas se apóiam em rocha) e de flexão (o porque de seu emprego muito ligado às estruturas de contenção)
- Possibilidade de tratamento à base de betume especial (pintura), com a finalidade de reduzir o efeito do "atrito negativo"
- Facilidade de corte e emenda de modo a reduzir "perdas" decorrentes da variação da cota de apoio do extrato resistente, principalmente em solos residuais jovens

2.3 - Estacas Mistas

Quando usadas como complemento de outro tipo de estaca (por exemplo, pré-moldada de concreto com anel metálico), as denominadas estacas mistas podem resolver alguns problemas de fundação profunda, conforme se mostra nas Fotos 1 e 2.

No primeiro caso (Foto 1) o segmento metálico tem por finalidade permitir a cravação de um comprimento significativo da estaca em solos compactos arenosos ou argilas rijas a duras, sem os inconvenientes de "levantamento" acima mencionado, ou atravessar pedregulhos e concreções. Sua aplicação mais significativa ocorre em obras marítimas (cais) onde é comum a existência dessas camadas resistentes, mas a estaca é projetada com um comprimento pré-fixado (por exemplo, decorrente de futura dragagem) para resistir a esforços elevados de tração. A cravação de estacas de concreto, neste caso, pode se tornar inviável em decorrência de quebra para atingir a profundidade definida pelo projetista. Assim a estaca mista terá um trecho em concreto armado, na região em água, e um trecho metálico na região de solo, com comprimento tal que permita atravessar essas dificuldades de resistência do solo atingindo o comprimento definido em projeto, e mantendo a integridade estrutural para resistir às cargas de compressão e tração a ela impostas.

As provas de carga números 19 e 41 são um caso de obra em que se usou este tipo de estaca. Uma vista geral de uma dessas obras é mostrada na foto 3.

No segundo caso (Foto 2) o segmento metálico tem por finalidade permitir que a estaca mista possa ser cravada, até atingir um estrato rochoso, sem que haja risco de quebra da ponta da estaca de concreto, visto que, na quase totalidade dos casos em que ocorre rocha, esta se encontra inclinada impondo, à ponta da estaca, tensões não uniformes, durante a cravação. Estas tensões dinâmicas de cravação não podem ser resistidas pelo concreto, mas sim pela ponta metálica, pois o aço é um material mais dúctil e, por deformações diferenciais redistribui essas tensões de contato e as transmite de modo mais uniforme para a seção de concreto.

Foto 1 - Estaca mista (concreto-perfil metálico) para atravessar solos resistentes sem risco de levantamento de estacas já cravadas. Também se utilizam em obras marítimas conforme se mostra nas provas de carga números 19 e 41.



Foto 2 - Estaca mista (concreto-perfil metálico) para apoio em rocha

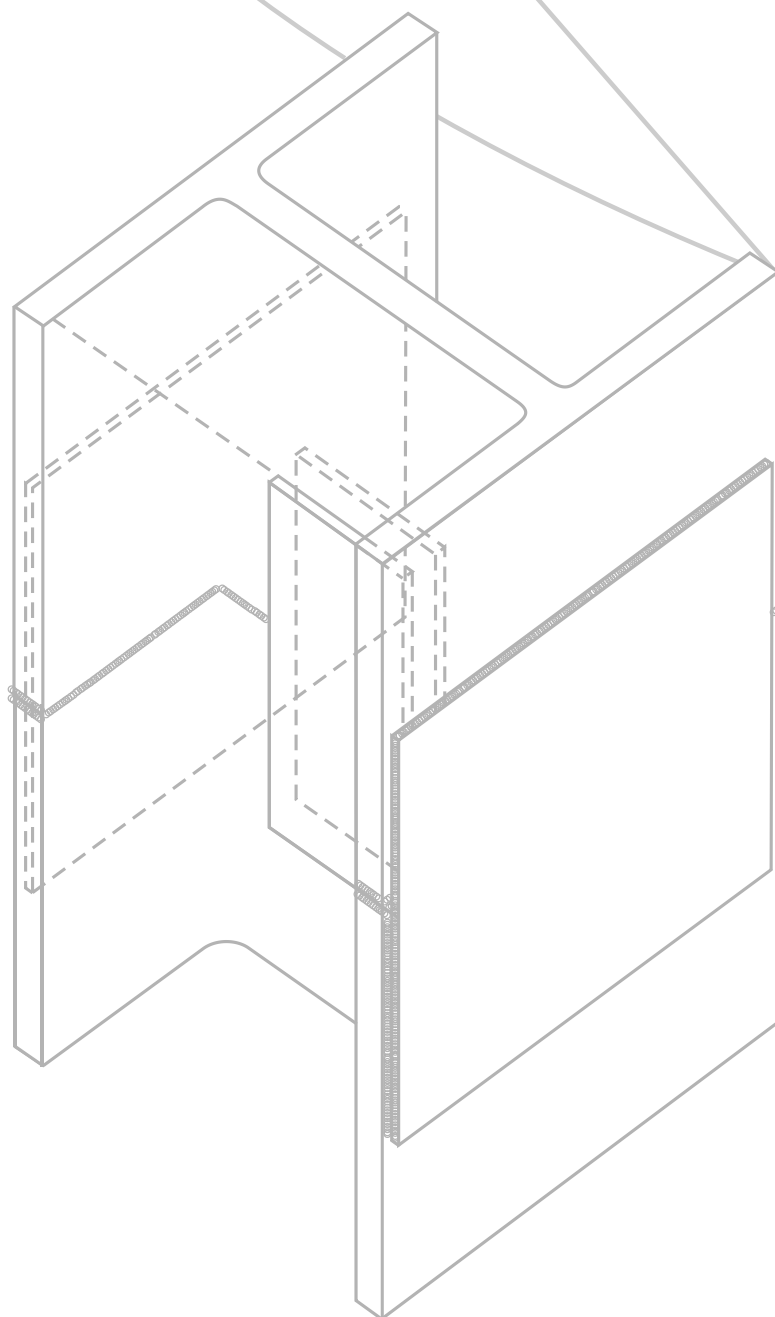


Foto 3 - Vista geral da obra onde se realizou a prova de carga nº 41 (estaca mista)



3

CORROSÃO



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.

O processo de corrosão de uma estaca cravada em solos cujo pH esteja situado entre 4 e 10, isto é, quase que a totalidade dos solos naturais encontrados, é fundamentalmente dependente da presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de uma destas substâncias, a corrosão não acontecerá.

O primeiro metro de solo apresenta certa oxigenação; abaixo disso, a concentração desta substância decresce rapidamente com a profundidade, e sua reposição é extremamente dificultada. A difusão de gases em meios porosos contendo água é um processo muito lento. Uma estaca recentemente cravada no solo consome todo este oxigênio disponível nas redondezas durante processo de corrosão, exaurindo-o. Para que o processo tenha continuidade, mais oxigênio deve chegar ao sítio de reação, o que não pode acontecer com facilidade. Este é o motivo pelo qual os resultados experimentais disponíveis têm revelado a grande resistência do aço frente à corrosão, independentemente do tipo de solo ou de suas propriedades. Outras propriedades dos solos, tais como, drenagem, resistividade elétrica, ou composição química não são de grande valia na determinação de sua corrosividade.

O artigo técnico "Durabilidade de Estacas Metálicas Cravadas no Solo", de autoria de Pannoni e Lazari, publicado no SEFE VI, reproduzido em Anexo, trata do assunto de modo abrangente. O artigo mostra que o texto da atual NBR 6122/1996 da ABNT, que prescreve um desconto de 1,5 mm da superfície do perfil em contato com o solo, traz exigências superiores a outras Normas e Códigos internacionais. Entretanto, como esta Norma está em vigor entre nós, este manual seguirá sua linha atual de exigência.

A Foto 4 mostra uma estaca metálica que serviu como fundação por mais de 20 anos, da ponte da Rua Wandenkolk, sobre o rio Tamanduateí, em São Paulo. Esta estaca foi removida, juntamente com todas as demais estacas de fundação da ponte, quando da retificação, alargamento e aprofundamento da calha desse rio. A seção de separação entre o trecho enterrado da estaca e o imerso no concreto do encontro da ponte (bloco de coroamento) está indicada, nessa foto, pela seta.

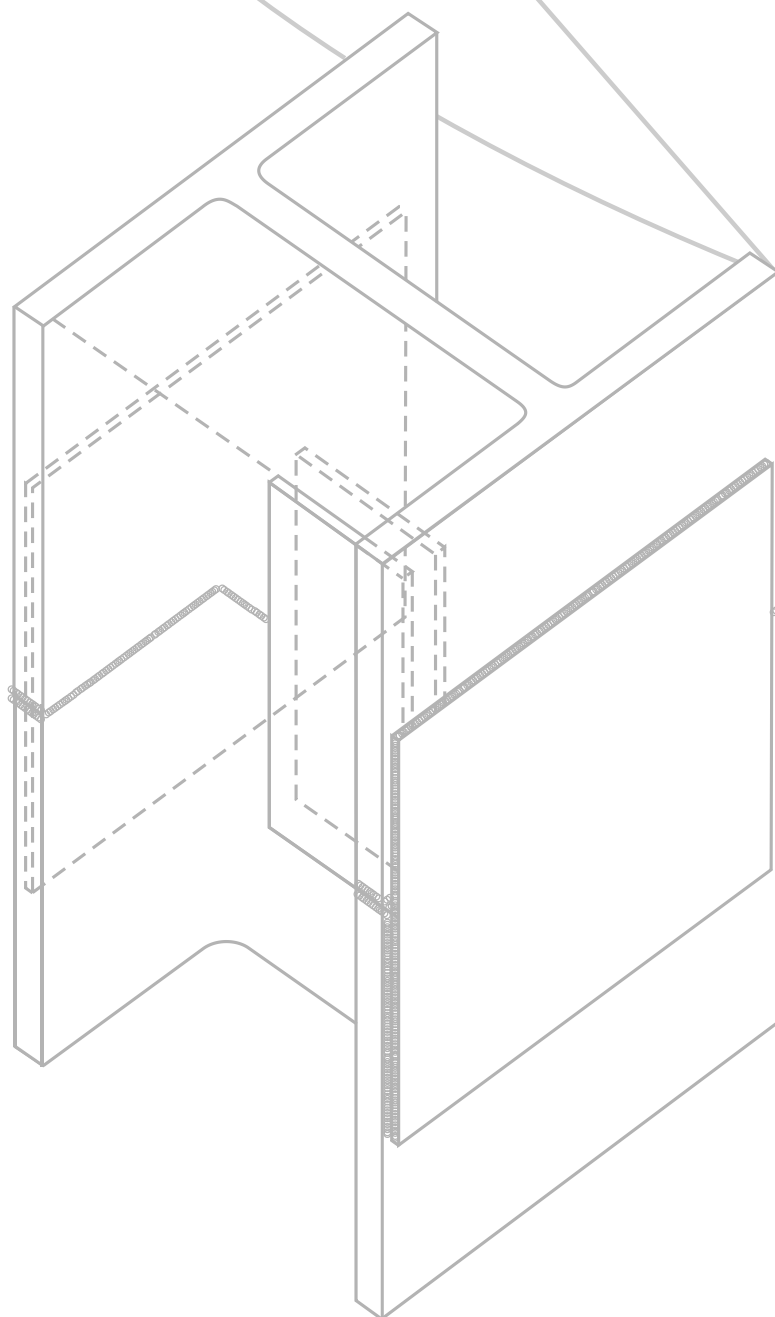
Também no livro de Fundações dos Profs. Dirceu Velloso e Francisco Lopes (COPPE-UFRJ - vol. 2) há o relato de que a análise de estacas metálicas utilizadas como fundação de edifícios no Rio de Janeiro, junto à Lagoa Rodrigo de Freitas e retiradas com 10 a 20 anos de uso, não mostravam sinais de corrosão.

Foto 4: Estaca metálica da ponte Wandenkolk removida após mais de 20 anos de uso



4

DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL



4.1 - Flambagem

Em estacas comprimidas que permanecem totalmente enterradas, normalmente não ocorre flambagem. Por esta razão, a NBR 6122/1996 só exige a verificação à flambagem quando as estacas tiverem sua cota de arrasamento acima do nível do terreno, levada em conta a eventual erosão (no caso de estacas onde ocorre o fluxo de água), ou atravessarem solos moles (item 7.9.4 desta Norma).

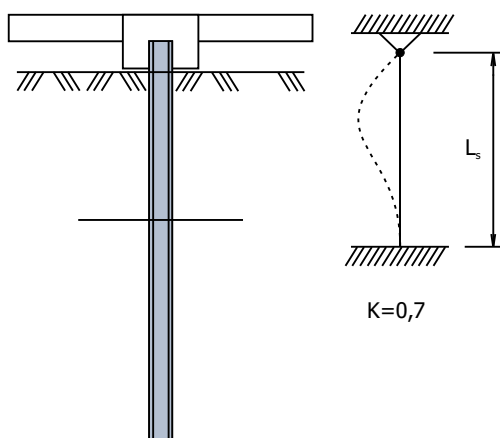
Para mostrar que as estacas metálicas com os Perfis Gerdau Açominas não sofrem flambagem, mesmo quando atravessam solos moles, tomaremos da série de Perfis, o que apresenta o menor raio de giração e que consequentemente terá o maior índice de esbeltez ($\lambda = kL_s/r$).

Para esse cálculo adotaremos a hipótese de que o topo da estaca esteja solidário ao bloco (estaca rotulada no bloco e engastada a uma profundidade L_s , calculada pelo método de Davisson e Robinson - VI ICSMFE - 1965). Esta hipótese é válida pois as estacas trabalham, geralmente, em grupos solidarizados por um bloco de coroamento rígido, onde não é necessário levar em conta as excentricidades (de segunda ordem) na aplicação da carga. Mesmo quando a estaca é isolada, a NBR 6122/1996 recomenda que o bloco seja travado por duas vigas ortogonais que deverão ser dimensionadas para absorver uma excentricidade de 10% do diâmetro da estaca ou, no caso de estacas metálicas, do diâmetro da seção circular de área equivalente à do retângulo envolvente. No caso de bloco com duas estacas a NBR 6122/1996 também recomenda que o bloco seja travado por uma viga transversal ao plano que contém as estacas.

A bitola dos Perfis Gerdau Açominas que tem o menor raio de giração é:

W 310 x 21,0	$A_g = 27,2 \text{ cm}^2$
	$r_y = 1,90 \text{ cm}$
	$I_y = 98 \text{ cm}^4$

Para este Perfil, a carga admissível à compressão é calculada a seguir:



$$L_s = 1,8 \cdot \sqrt[5]{\frac{E \cdot I}{\eta_h}} \quad (\text{Davisson e Robinson})$$

Para argila muito mole
 $\eta_h = 0,055 \text{ kgf/cm}^3$

$$L_s = 148 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{k \cdot L_s}{r_y} = \frac{0,7 \times 148}{1,90} = 55 \text{ (esbeltez máxima)}$$

Segundo a NBR 8800, a carga estrutural admissível do perfil à compressão será:

$$P = \frac{\gamma_f}{\gamma_p} \cdot (\rho \cdot Q \cdot A_s \cdot f_y)$$

$$\begin{array}{l|l} \text{Esbeltez local} & \begin{array}{l} \text{Abas } \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 8,86 < 0,55 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 13 \\ \text{Alma } \frac{d'}{t_w} = 53,25 > 1,47 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 36 \longrightarrow Q = 0,87 \end{array} \end{array}$$

$$\text{Coeficiente de esbeltez} \longrightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot f_y}{E}} = \frac{55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{0,87 \times 3,5}{2090}} = 0,67 \longrightarrow \rho = 0,8 \text{ (curva b)}$$

Considerando ainda: Coeficiente de Ponderação médio $\longrightarrow \gamma_p = 1,5$

(A) Portanto a carga estrutural admissível do perfil de maior esbeltez da série, o W 310 x 21,0, trabalhando como estaca enterrada em solo de baixa resistência com ($\lambda = 55 \longrightarrow \rho = 0,8$), e sem redução de seção, será:

$$P = \frac{0,9}{1,5} \cdot (0,8 \times 0,87 \times 27,2 \times 3,5) = 39 \text{tf}$$

(B) A carga estrutural admissível à compressão do perfil W 310 x 21,0 calculada com a redução de seção de 1,5 mm em todo o perímetro, devido à corrosão preconizada pela NBR 6122 / 1996 e sem flambagem ($\lambda = 15 \longrightarrow \rho = 1,0$), será:

$$P = \frac{0,9}{1,5} \cdot (1,0 \times 0,87 \times 12,7 \times 3,5) = 23 \text{tf}$$

Considerando que o valor calculado em (A), obtido com o perfil mais esbelto da série em solo de baixa resistência é cerca de 70% maior do que o valor calculado em (B), obtido com a redução de seção e sem considerar a flambagem, adotaremos para a tabela da carga estrutural admissível a expressão utilizada em (B) que deverá atender para perfis utilizados com estacas em solos normais.

4.2 - Capacidade de Carga Estrutural

A carga admissível estrutural dos Perfis Gerdau Açominas utilizados como estacas, segundo a NBR 8800, pode ser determinada por:

$$P = \frac{\gamma_f}{\gamma_p} \cdot (\rho \cdot Q \cdot A_s \cdot f_y) \quad (1)$$

Com as seguintes considerações:

1) Segundo a NBR 8800, as seções que atendem aos limites de esbeltez local mostrados abaixo para aba e para a alma são consideradas estáveis localmente e portanto são totalmente efetivas ($Q = 1,0$), sendo o seu dimensionamento comandado pela resistência global do elemento.

- Todos os Perfis do tipo H, atendem aos limites abaixo, ou seja $Q = 1,0$.

- Alguns Perfis do tipo I, tem alma que não atende aos limites abaixo e podem ter uma pequena redução na capacidade global do elemento, ou seja $Q < 1,0$. Entretanto, dentro das incertezas das cargas e tendo em vista que já estamos adotando $\gamma_p = 1,5$ (ver item abaixo) quando a NBR 6122/96 permite adotar $\gamma_f = 1,4$, também para as estacas I adotaremos $Q = 1$.

Para a Aba $\gamma_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < 0,55 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 13$

Para a Alma $\gamma_w = \frac{d'}{t_w} < 1,47 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 36$ $d' = \text{altura plana da alma}$

2) Considerando que em muitos casos não se conhece a origem exata das cargas, adotaremos, para a determinação da carga estrutural admissível, com base nos coeficientes de ponderação da NBR 8800 um coeficiente de ponderação médio para as ações $\rightarrow \gamma_p = 1,5$

3) Com base na NBR 8800 adotaremos o seguinte coeficiente de ponderação para as resistências $\rightarrow \gamma_f = 0,9$

4) Usaremos para o cálculo a área reduzida (A'_s) que foi calculada descontando-se da área bruta (A_s) a espessura de 1,5 mm em todo o perímetro do Perfil.

Assim, a expressão (1) para o caso de estacas com Perfis Gerdau Açominas, de acordo com as considerações acima será:

$$P = \frac{0,9}{1,5} \cdot (\rho \cdot A'_s \cdot f_y) \quad \text{ou} \quad P = \frac{\rho \cdot A'_s \cdot f_y}{1,66} \quad (2)$$

ou, como $f_y = 2,5 \text{ tf/cm}^2$, $P = 2,1 \cdot \rho \cdot A'_s$ (2a)

Para o caso particular em que as estacas estejam totalmente enterradas (sem flambagem), $\rho = 1$ e a expressão (2a) passa a ser escrita:

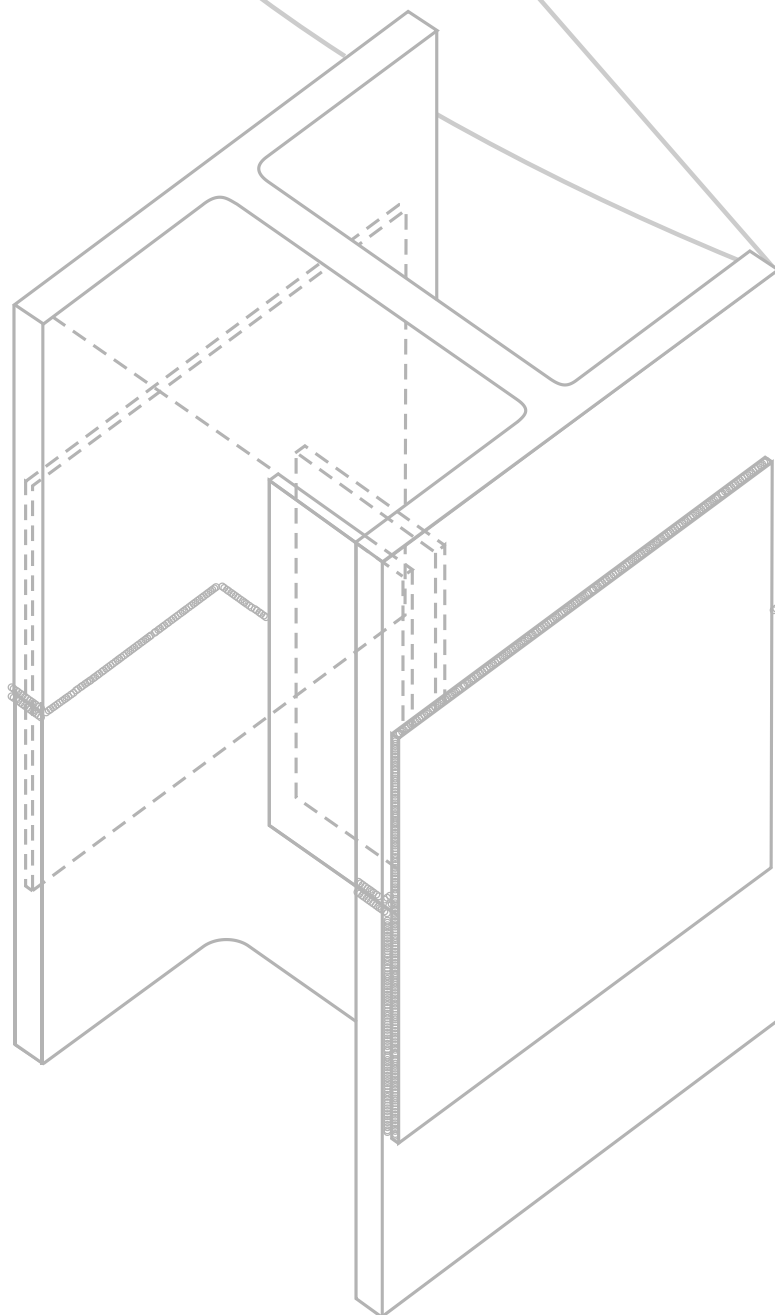
$$P = 2,1 \cdot A'_s \quad (2b)$$

Nas expressões (2a) e (2b) ρ é obtido em tf para A'_s em cm^2 . Os valores assim obtidos são apresentados nas tabelas do anexo I.

A carga admissível a adotar para a estaca deverá atender também a carga admissível geotécnica (\leq ao valor da tabela), obtida após a análise dos parâmetros geotécnicos onde a estaca será cravada. Esta carga admissível geotécnica será obtida utilizando-se um dos métodos, teóricos ou semi-empíricos, de capacidade de carga consagrado em Mecânica dos Solos e que atenda ao preconizado no item 3.26 da NBR 6122/1996.

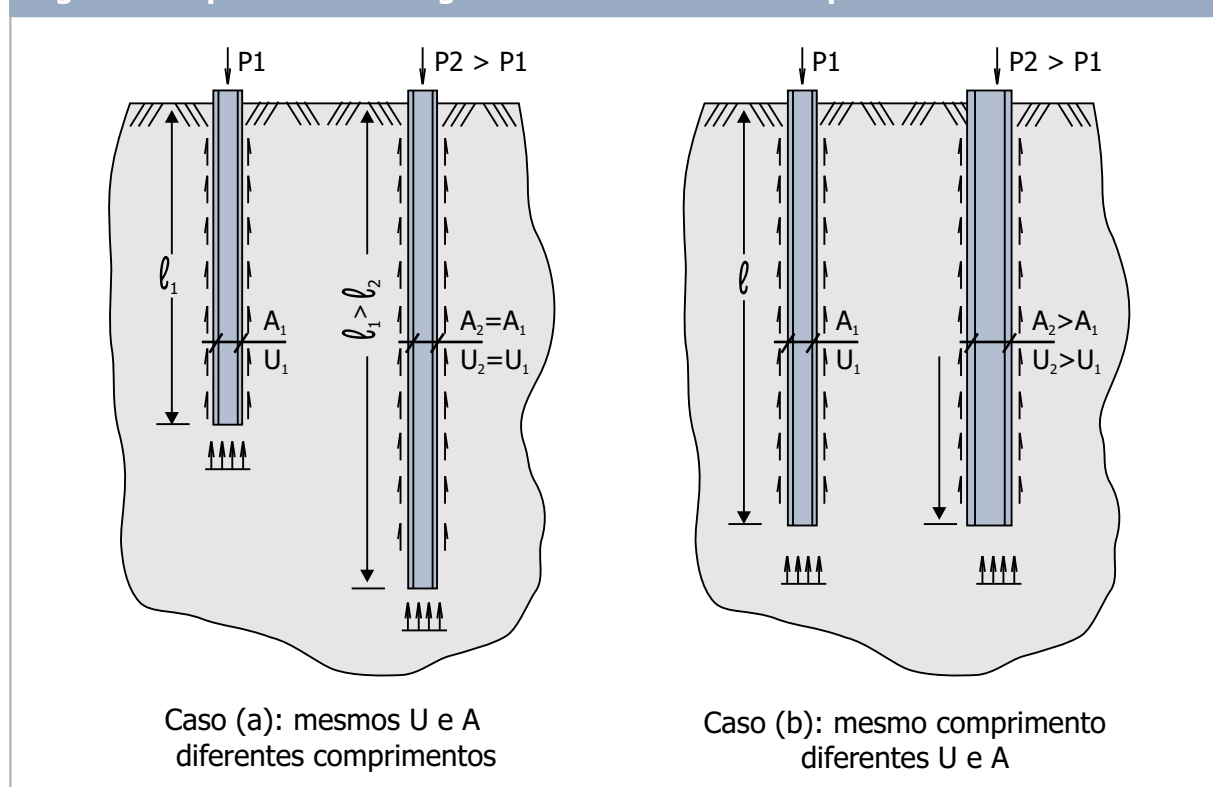
5

CAPACIDADE DE CARGA GEOTÉCNICA



A carga admissível estrutural, também denominada carga característica, apresentada na Tabela 2, é a máxima carga que a estaca poderá resistir, visto que corresponde a resistência estrutural do aço que compõe a estaca. Entretanto há necessidade de se dotar uma estaca de um comprimento tal que permita que essa carga possa ser atingida sob o ponto de vista do contato estaca-solo. Esse procedimento constitui o que se denomina “previsão da capacidade de carga”. A Figura 1 mostra duas situações de estacas do mesmo tipo, instaladas num mesmo solo. O caso (a) corresponde a estacas com mesmo perímetro U e mesma área de ponta A , porém com comprimentos diferentes, de tal sorte que a estaca com maior comprimento apresentará maior capacidade de carga. Analogamente, o caso (b) apresenta duas estacas como mesmo comprimento, mas com perímetro U e área de ponta A diferentes. Nesse caso a estaca de maior perímetro e área apresentará maior capacidade de carga. Portanto, o projeto de um estaqueamento consiste em otimizar perímetros e áreas de ponta em função das características de resistência do solo e das limitações dos equipamentos de cravação. É evidente que, nessa otimização, e sempre que for possível, devem-se utilizar estacas e equipamentos que permitam instalá-las em um comprimento tal que a carga admissível estrutural possa ser atingida, pois essa é a máxima carga que a estaca pode suportar. Mas nem sempre isso é possível e, via de regra, a carga admissível da estaca será inferior àquela mostrada na Tabela 2. É por essa razão que não existem cargas admissíveis de estacas metálicas (ou de outro tipo) tabeladas.

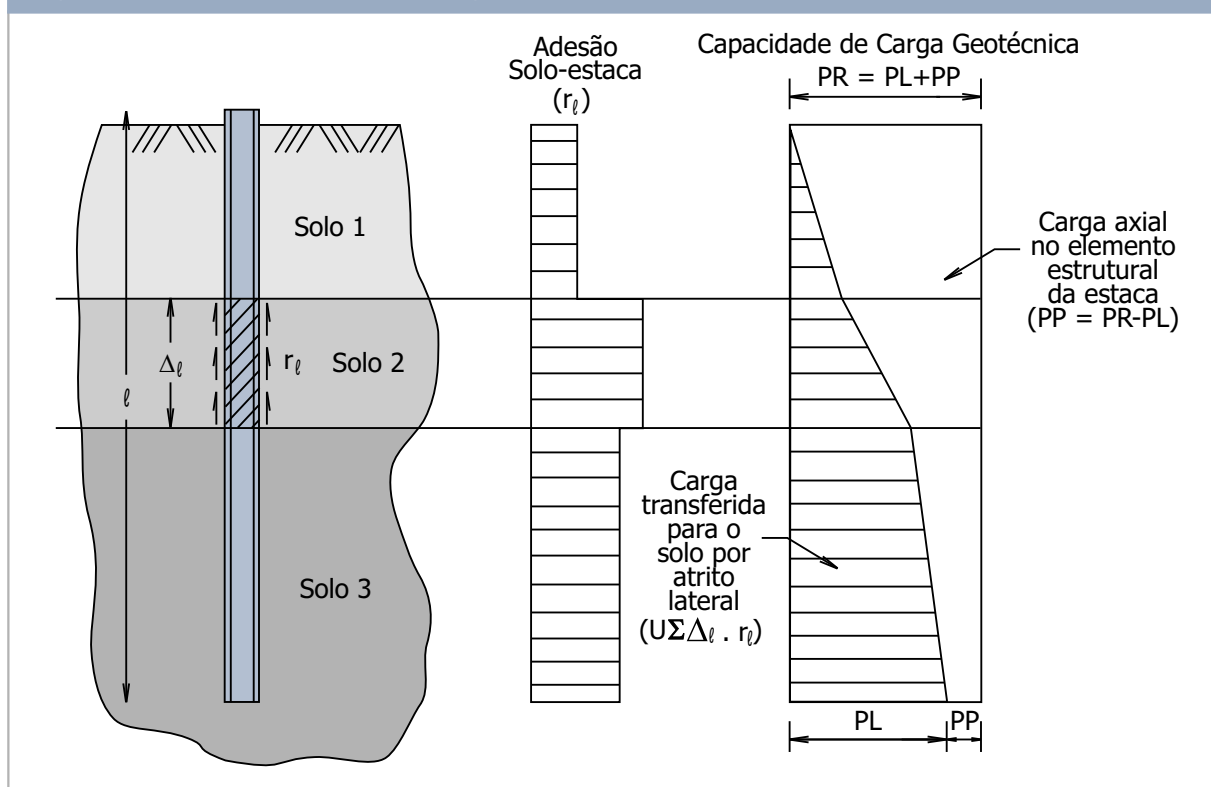
Figura 1: Capacidade de carga de estacas do mesmo tipo em um mesmo solo



No Brasil a estimativa da capacidade de carga geotécnica é feita pelos métodos semi-empíricos, cuja origem se deu em 1975, quando foi apresentado o primeiro método brasileiro proposto por Aoki e Velloso. A partir daí vários outros autores, seguindo a mesma linha de raciocínio, apresentaram outros métodos, existindo hoje uma experiência bastante razoável dos profissionais que militam na área de fundações.

Todos os métodos semi-empíricos partem da Figura 2 em que a carga de ruptura geotécnica PR do solo, que dá suporte a uma estaca isolada, é admitida igual à soma de duas parcelas:

Figura 2: Transferência de carga de uma estaca isolada



$PR = PL + PP \longrightarrow$ carga na ruptura do solo que dá suporte à estaca, sendo:

$PL = U \cdot \sum \Delta l \cdot r_l \longrightarrow$ parcela de carga por atrito lateral ao longo do fuste da estaca

$PP = A_p \cdot r_p \longrightarrow$ parcela de carga devido à ponta da estaca

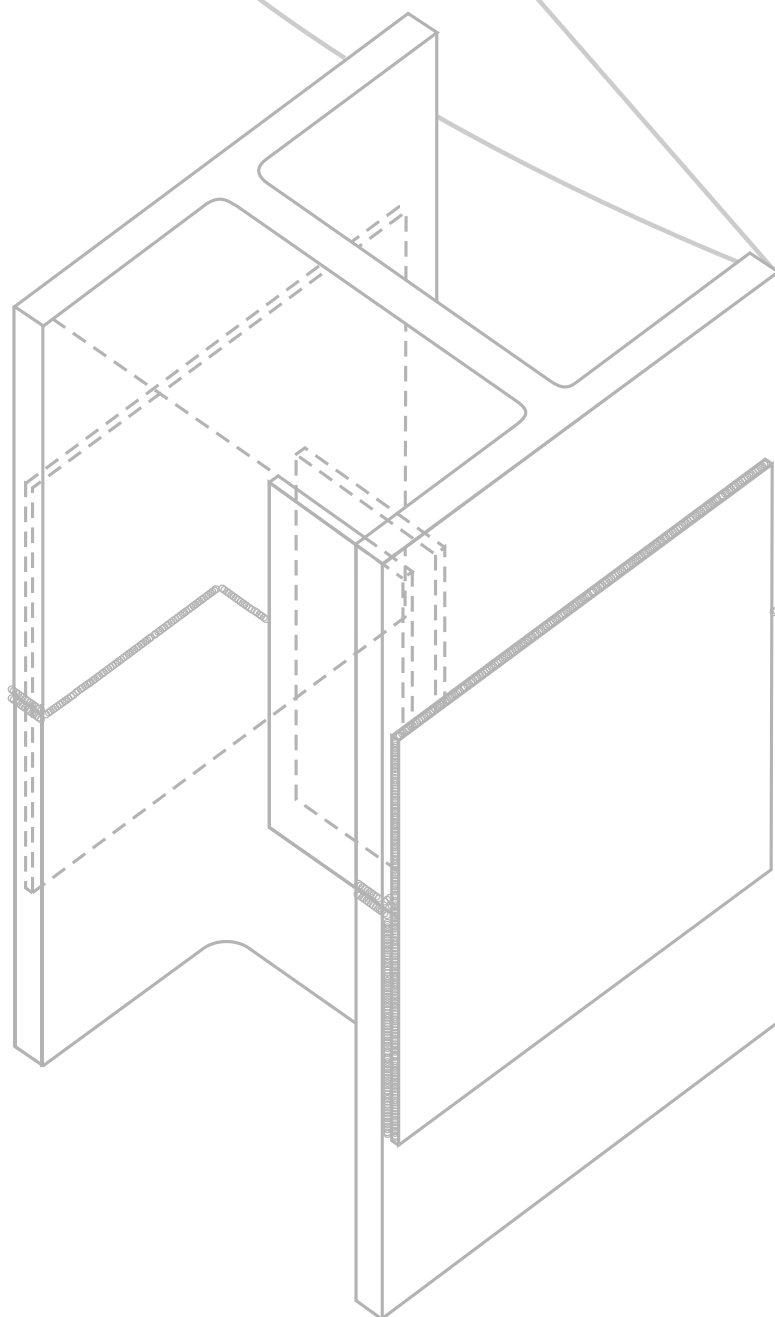
$U \longrightarrow$ perímetro desenvolvido da seção transversal da estaca

$\Delta l \longrightarrow$ trecho de solo onde se admite r_l constante

$A_p \longrightarrow$ área da ponta da estaca que contribui para a capacidade de carga. Seu valor máximo será: $b_f \times d$.

A diferença entre os diversos métodos de capacidade de carga está na avaliação dos valores de r_l e r_p , já que as demais grandezas envolvidas são geométricas.

CONCEITO DE “ESTACAS METÁLICAS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE”



ESTACAS METÁLICAS DE SEÇÃO TRANSVERSAL DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE

Até 2006, as estacas metálicas só eram projetadas utilizando perfis de seção constante. Observe-se entretanto que, conforme se pode ver na Figura 2, a carga axial que deverá ser resistida por uma estaca metálica decresce com a profundidade, desde o valor máximo (PR), no topo, até o valor mínimo na ponta (PP). Como esses valores de carga são decorrentes dos valores de “ruptura” do solo, a carga (admissível ou característica) a ser resistida pela estaca equivale à metade desse valor, ou seja, $P = PR/2$ no topo. Assim, pode-se concluir que a seção transversal de uma estaca metálica não necessita ser constante ao longo de todo o seu comprimento, já que a carga que nela irá atuar decresce com a profundidade. Ou seja, a seção de uma estaca poderá variar (decrescer) com a profundidade, desde que atenda à carga axial (com os respectivos coeficientes de ponderação) mostrada na Figura 2.

Esse é um conceito novo, que introduzido em 2006 pelo corpo técnico da Gerdau Açominas e denominado “Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade”, e tem como vantagem principal a redução do peso das estacas metálicas. Isto é, com a variação decrescente da seção transversal das estacas, podem-se obter idênticas capacidades de carga com uma economia substancial no peso das mesmas.

O conceito é muito simples e se baseia na utilização de Perfis de um mesmo grupo para compor as estacas com seção transversal decrescente. Entendam-se como Perfis de um mesmo grupo aqueles cujas bitolas são de mesma altura nominal, com variações na espessura de alma e abas (variação de massa e no perímetro total). Sendo do mesmo grupo, as emendas dos Perfis de diferentes dimensões serão executadas com facilidade, idênticas às de estacas com Perfis de mesma seção.

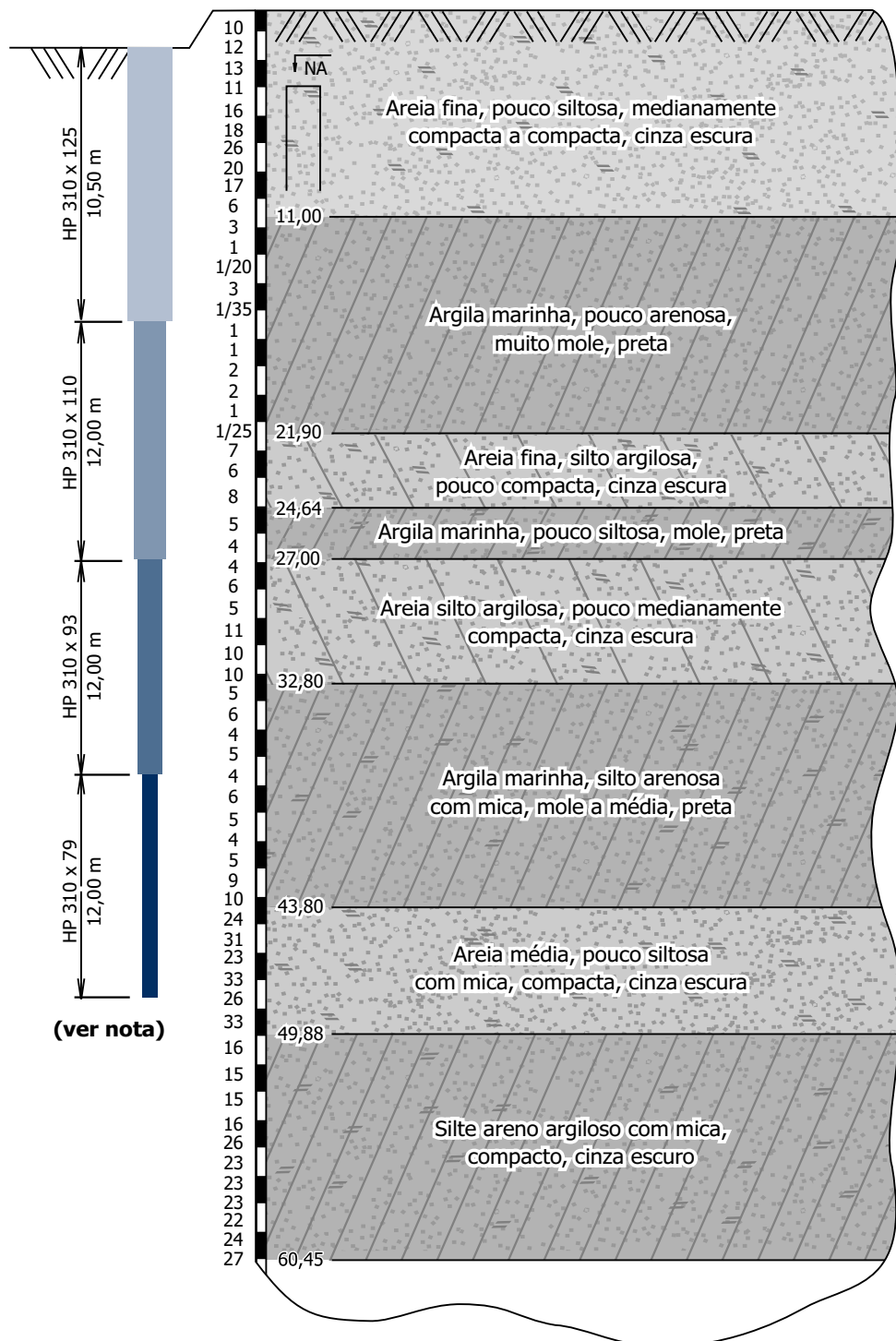
Os Perfis Gerdau Açominas, disponíveis em ampla variedade de bitolas para um mesmo grupo, oferecem extraordinária flexibilidade para o uso deste novo conceito de estaca. Usando como exemplo as bitolas do grupo com 310 mm de altura (4 bitolas do tipo HP), o perímetro varia entre a de menor e a de maior peso de 0,5% a 2%, enquanto as reduções de massa vão de 13% a 58%. Dependendo obviamente do projeto, da condição da obra, e da combinação dos diferentes Perfis que comporão as estacas, pode-se economizar genericamente falando para estacas “longas”, entre 15% e 25% no peso total das estacas metálicas de uma obra utilizando seção transversal decrescente.

Recomenda-se analisar a aplicação deste novo conceito em toda e qualquer obra que requeira o uso de fundações profundas, com estacas compostas, no mínimo, por duas seções de Perfis. Como para qualquer outra solução, o tipo de solo precisa ser considerado, mas, nos estudos já realizados, a aplicação de estacas metálicas de seção transversal decrescente, tem se mostrado altamente eficiente, principalmente para solos naturais de diferentes tipos.

No Brasil, várias obras já foram realizadas utilizando esse novo conceito. Na Figura 3, mostra-se uma dessas composições, projetada para obra executada no Estado de São Paulo, na cidade de Santos. Nessa obra foram utilizadas estacas metálicas compostas com Perfis Gerdau Açominas de 310 mm de altura, cujas seções tinham peso variando entre 125 kg/m e 79 kg/m. Para comprovar a eficiência dessas estacas vem sendo realizadas, regularmente, provas de carga estáticas cujo resumo se apresenta no item 10.

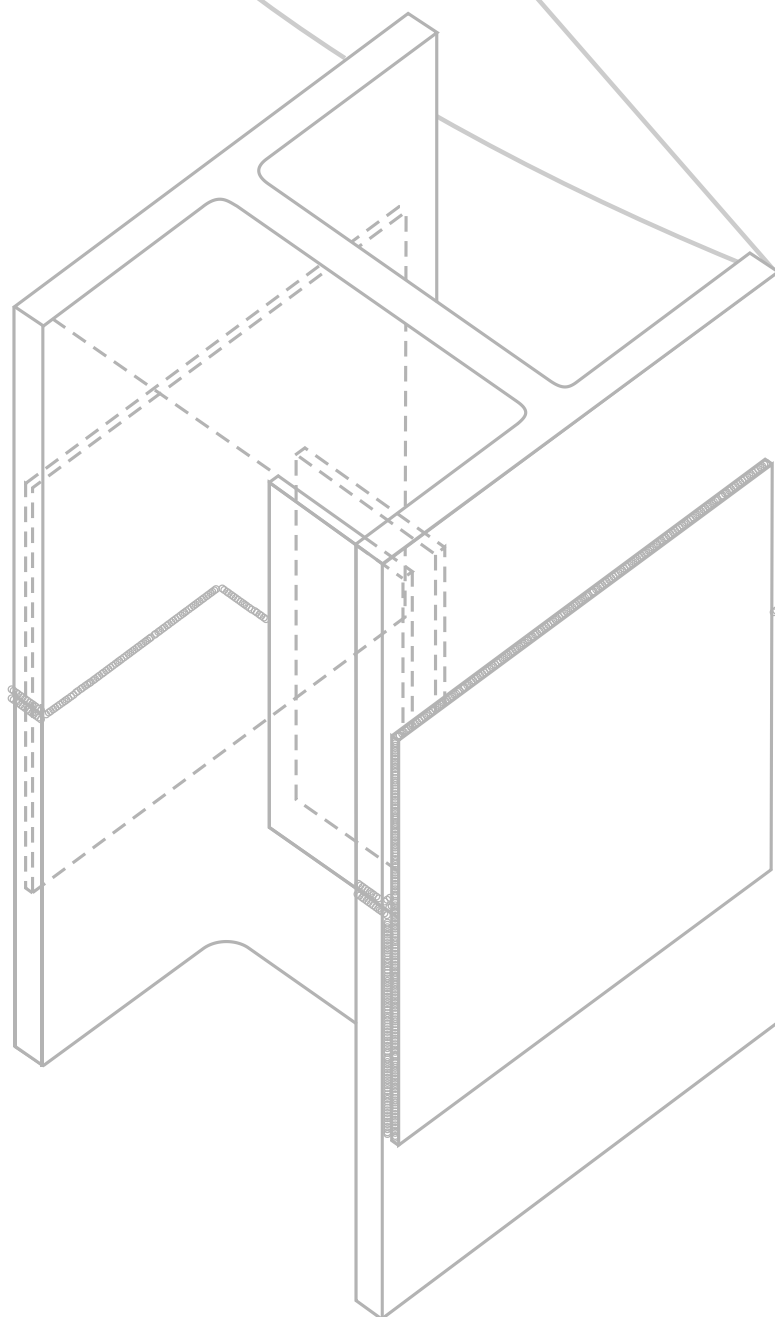
A prova de carga da Figura 3 é a de número 27 da tabela 2.

**Figura 3: Composição de Perfis Gerdau Açominas
(conceito de estaca de seção decrescente com a profundidade)**



Nota: Figura sem escala cuja finalidade é ressaltar o conceito de Estaca Metálica de Seção Transversal Decrescente com a Profundidade.

DETALHES DA EMENDA DAS ESTACAS

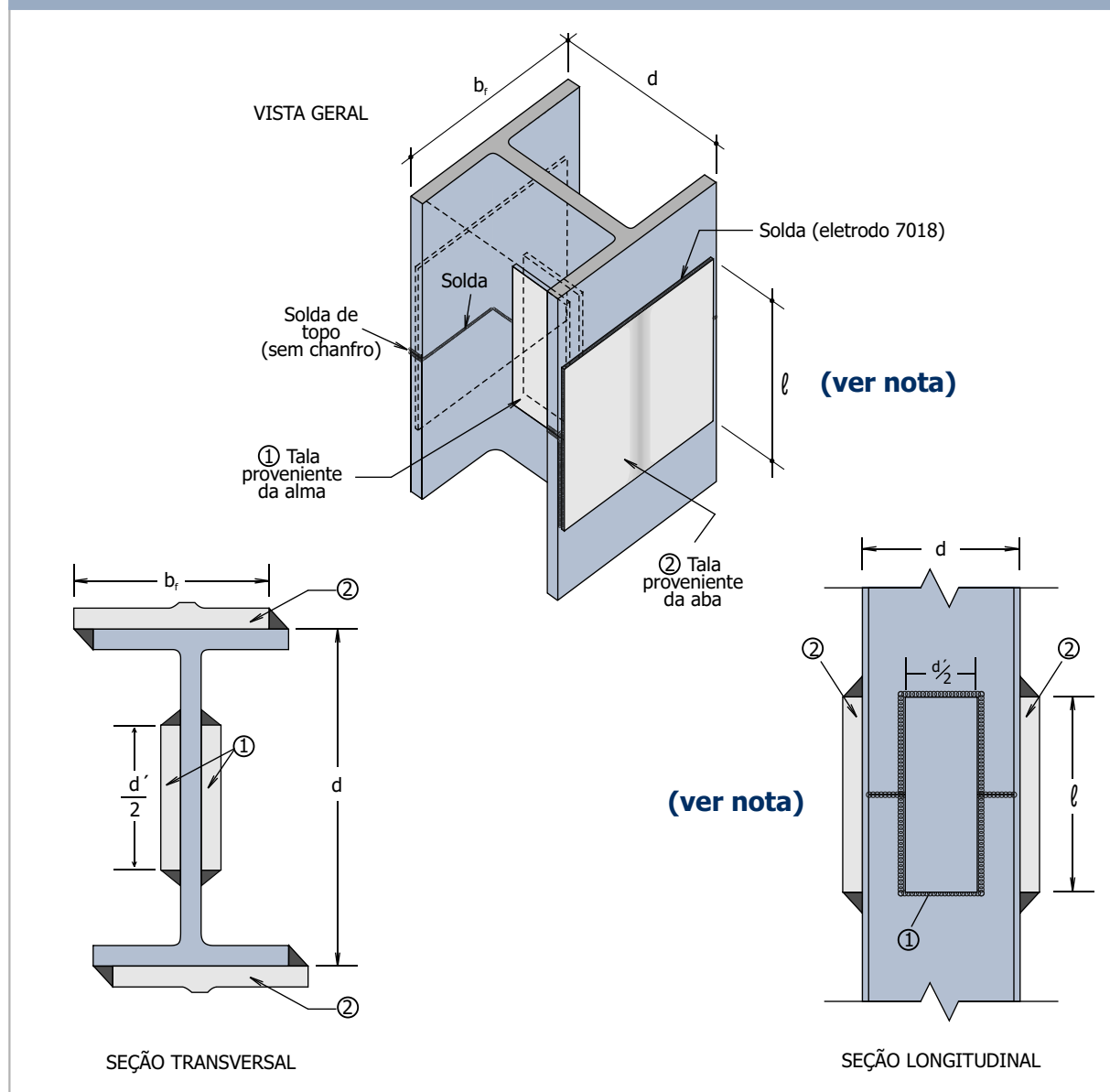


DETALHES DA EMENDA DAS ESTACAS

As emendas dos Perfis são feitas através de talas, confeccionadas a partir do próprio perfil. Os comprimentos do cordão de solda e sua espessura devem ser tais que garantam, na seção soldada, a mesma resistência do perfil. A prática normal é se usar talas extraídas da aba para serem soldadas também nas abas, e talas da alma para serem soldadas na alma.

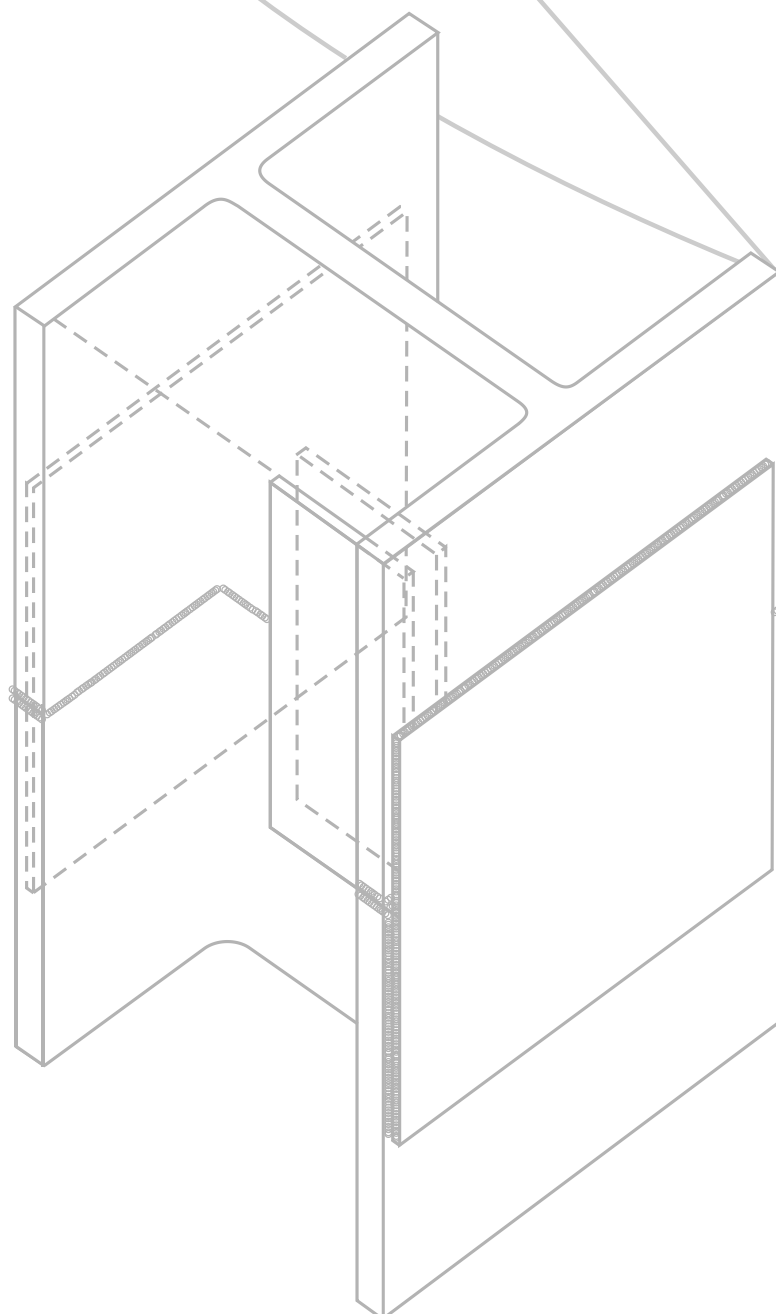
As talas são previamente soldadas no elemento superior (quando o mesmo ainda não foi içado, ou seja, solda feita com o perfil no chão). Após esse procedimento, esse elemento dotado das talas é içado e posicionado sobre o topo do perfil já cravado. A seguir encaixa-se o topo do perfil no capacete e alinha-se o elemento superior com o inferior. Após essa operação apóia-se o pilão sobre o capacete, verifica-se o alinhamento, ou o prumo, no caso de estacas verticais e ajustam-se as talas, se necessário, com auxílio de martelo ou marreta. Logo em seguida, realiza-se a solda conforme detalhe típico mostrado na Figura 4.

Figura 4: Emenda típica de Perfis trabalhando como estacas comprimidas



Nota: Para estacas tracionadas deve ser feita uma verificação do comprimento das talas soldadas de modo que as mesmas resistam aos esforços de tração.

LIGAÇÃO DOS PERFIS AO BLOCO DE COROAMENTO



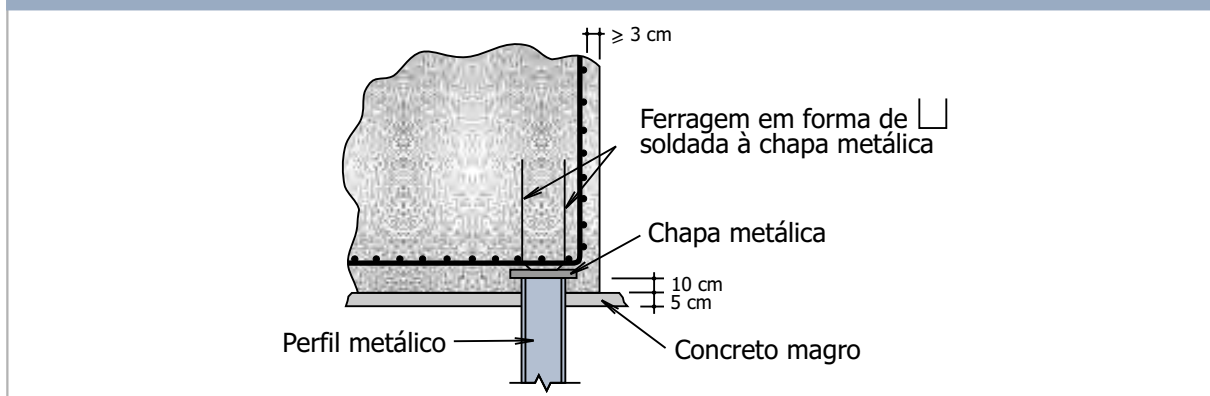
LIGAÇÃO DOS PERFIS AO BLOCO DE COROAMENTO

A ligação da estaca metálica ao bloco de coroamento deve ser feita de modo a que as cargas resistidas pelo bloco sejam transmitidas adequadamente e com garantia de continuidade às estacas.

1º Caso - Estacas Comprimidas

O detalhe, muito difundido entre os calculistas de concreto armado, mostrado na Figura 5, que consiste em soldar uma chapa no topo da estaca não deve ser adotado pois o mesmo tem como principal inconveniente o fato do corte do perfil metálico, na cota de arrasamento (após a cravação) onde será soldada a chapa, ser feito com maçarico e em posição muito desfavorável para o operador, trabalhando dentro da cava para a confecção do bloco e, na maioria das vezes próximo do nível da água. Nestas condições adversas de corte, resultará uma superfície sem garantia de perpendicularidade ao eixo da estaca, além de se apresentar irregular e, via de regra, não plana. Por essa razão o contato da chapa com a área plana do perfil metálico fica prejudicado. Para agravar a situação, normalmente a chapa é maior do que a projeção da seção transversal do perfil, necessitando que a solda desta ao perfil seja realizada por baixo da mesma e, portanto, sem qualquer controle da qualidade dessa solda.

Figura 5: Solução desaconselhada para a ligação da estaca metálica ao bloco de coroamento



A ligação mais eficiente e recomendada pela NBR 6122/1996, consiste em se embutir 20 cm da estaca no bloco de coroamento, acima da armadura principal do bloco, conforme se mostra na Figura 6. Também se pode utilizar uma solução alternativa, conforme mostrado na Figura 7, em que se soldam barras ao perfil abaixo da cota de arrasamento e se envolve essa região com concreto armado. Geralmente esse comprimento é da ordem de 50 cm.

Figura 6: Solução da ligação estaca-bloco recomendada pela NBR 6122/1996 (item 7.8.2.3.2)

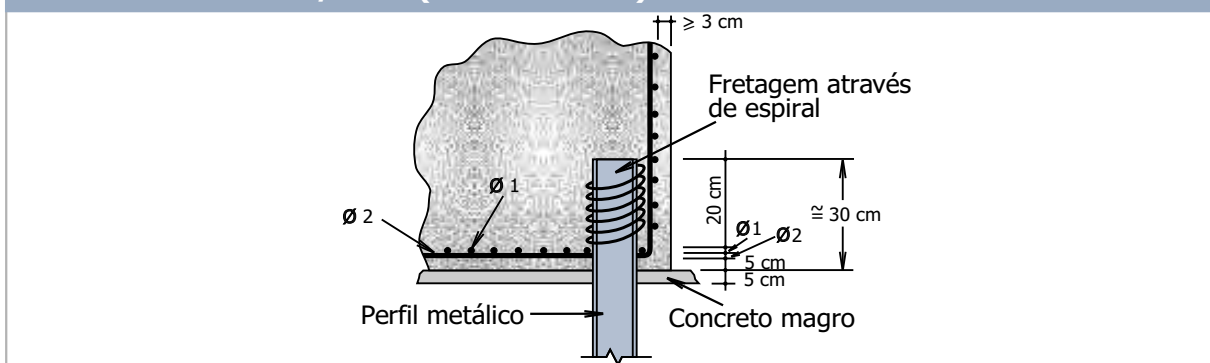
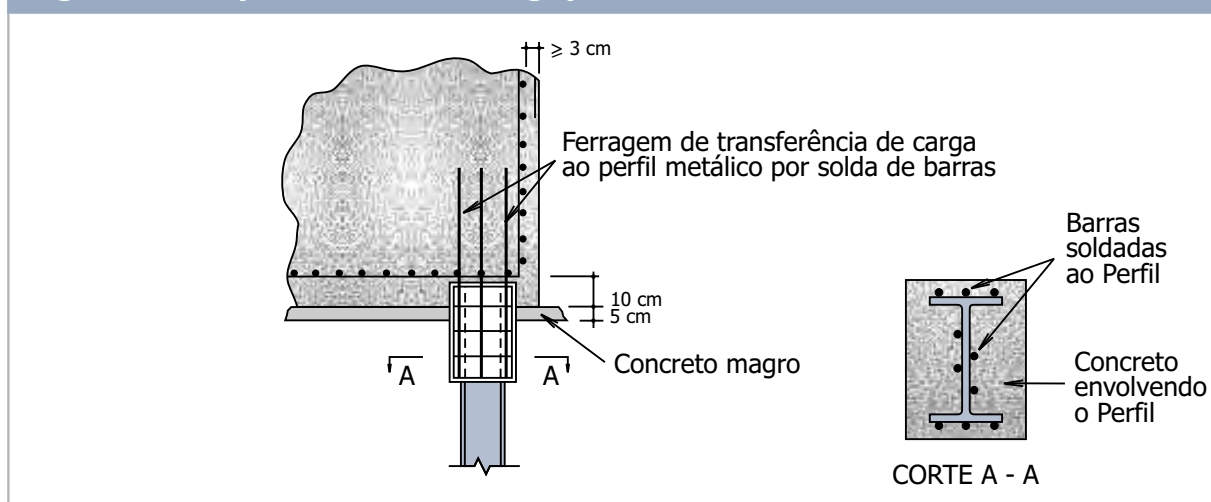


Figura 7: Solução alternativa da ligação estaca-bloco



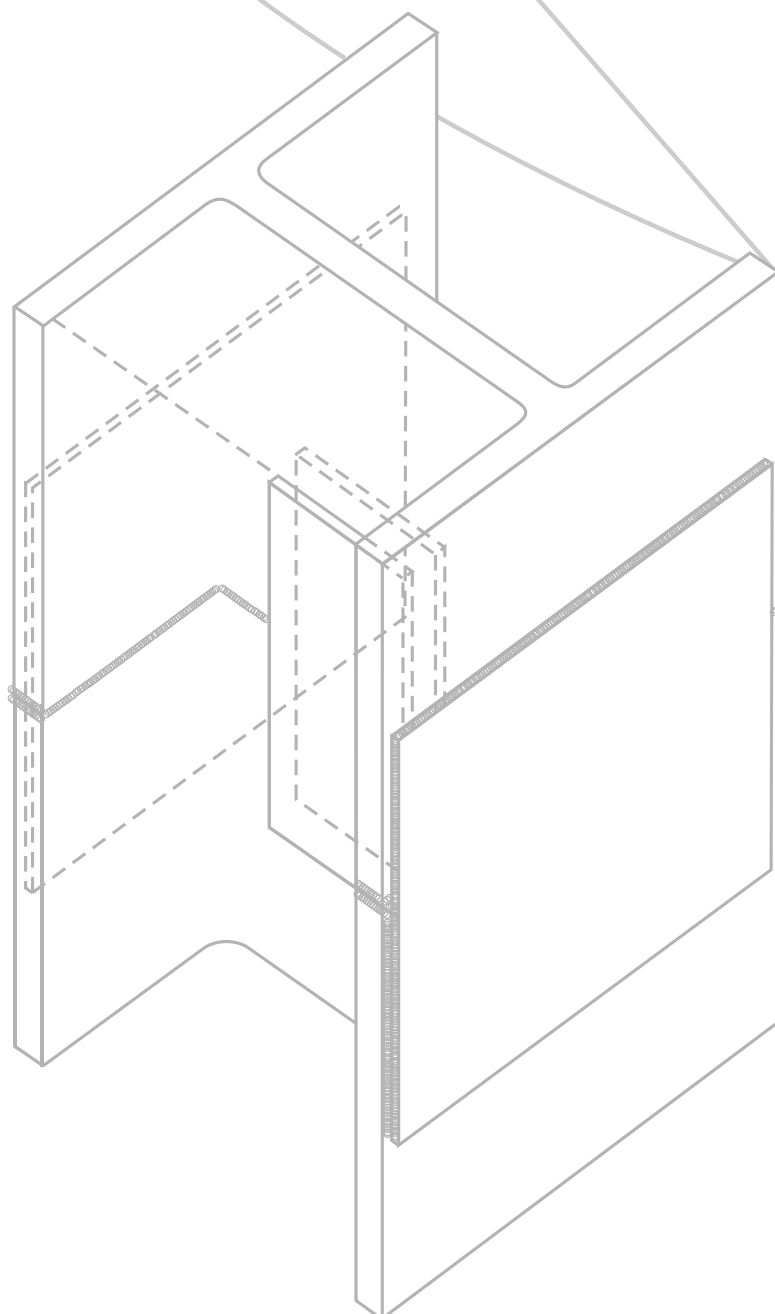
2º Caso - Estacas Tracionadas

No caso das estacas trabalharem à tração, a ligação com o bloco é feita através de armadura, convenientemente calculada, soldada ao perfil, analogamente ao mostrado na Figura 9, e que deverá penetrar no bloco o comprimento necessário para transmitir-lhe a carga de tração, por aderência, calculada segundo a Norma NBR 6118/2003.

Nota: Maiores detalhes sobre os blocos de coroamento no item 11.

9

CONTROLES DA CAPACIDADE DE CARGA

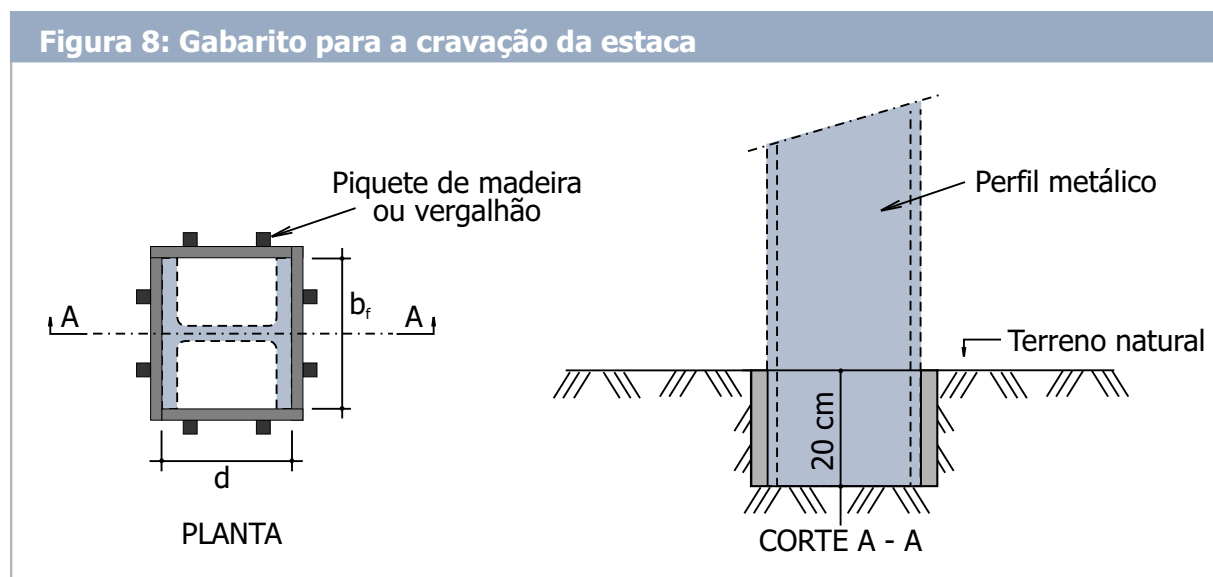


9.1 - Durante o Processo de Cravação

As estacas metálicas podem ser cravadas com a utilização de martelos de queda livre, martelos hidráulicos, martelos a diesel, martelos pneumáticos e martelos vibratórios. A escolha de um ou outro martelo depende, principalmente, das características do solo, do comprimento da estaca e do nível de barulho e vibração. Da boa escolha do martelo resultará um melhor desempenho do processo de cravação, em particular quanto às vibrações e ao barulho que, hoje em dia em centros urbanos, acabam sendo a condicionante para a escolha do tipo de estaca e, quando cravada, do tipo de martelo.

Qualquer que seja o martelo empregado, o controle da cravação é feito, tradicionalmente pela nega, pelo repique e, em obras mais importantes, pelo ensaio de carregamento dinâmico (NBR 13208/1994 da ABNT).

Para garantir que o perfil seja cravado na posição de projeto deve-se providenciar um gabarito de madeira "enterrado" conforme se mostra na Figura 8.



Nega

A nega é uma medida tradicional, embora, hoje em dia, seja mais usada para o controle da uniformidade do estaqueamento quando se procura manter, durante a cravação, negas aproximadamente iguais para as estacas com cargas iguais. A nega corresponde à penetração permanente da estaca, quando sobre a mesma se aplica um golpe do pilão. Em geral é obtida como um décimo da penetração total para dez golpes.

Apesar das críticas às fórmulas das negas (entre elas o fato de que foram desenvolvidas a partir da Teoria de Choque de Corpos Rígidos, o que está muito longe de representar uma estaca longa, pois sob a ação do golpe do pilão a ponta da mesma não se desloca ao mesmo tempo que o topo), ela ainda faz parte do "receituário" dos encarregados dos bate-estacas.

A nega também pode ser medida decorrido um determinado tempo após a cravação da estaca. É denominada "nega de recravação ou de recuperação", e compará-la com a medida ao final da cravação para verificar se o solo apresenta o fenômeno da cicatrização (diminuição da nega com o tempo) ou relaxação (aumento da nega com o tempo).

Repique

Ao contrário da nega, o repique já está incluído dentro do contexto da Teoria de Propagação de Onda e, portanto, apresenta resultados com muito menos dispersão do que a nega. O repique representa a parcela elástica do deslocamento máximo de uma seção da estaca, decorrente da aplicação de um golpe do pilão. Seu registro pode ser feito através do registro gráfico em folha de papel fixada à estaca e movendo-se um lápis, apoiado num referencial, no instante do golpe, conforme se mostra na Foto 5. O valor obtido, corresponde à solução da Equação da Onda, em termos de deslocamento máximo e sem a escala de tempo. A interpretação do sinal obtido permite estimar a carga mobilizada durante o golpe do pilão. Analogamente à nega esse sinal pode ser obtido após decorrido um certo tempo após a cravação para verificar os fenômenos da "cicatrização" (aumento da capacidade de carga com o tempo) ou "relaxação" (diminuição da capacidade de carga com o tempo) da estaca.

Foto 5: Registro do repique



Ensaio de Carregamento Dinâmico (Norma NBR 13208/1994 da ABNT)

Este ensaio, baseado na Equação da Onda, é mais completo que o repique. Consiste em se acoplar à estaca um par de transdutores de deformação específica e um par de acelerômetros, posicionados em planos ortogonais, para poder corrigir eventuais efeitos devido à flexão da estaca em função da não coincidência do golpe do pilão com o eixo da estaca (Foto 6). Esses transdutores são ligados "on line" a um analisador PDA (Pile Driving Analyser) mostrado na Foto 7.

Foto 6: Transdutores de aceleração e deformação específica



Foto 7: Equipamentos PDA para processamento dos sinais dos transdutores acoplados à estaca



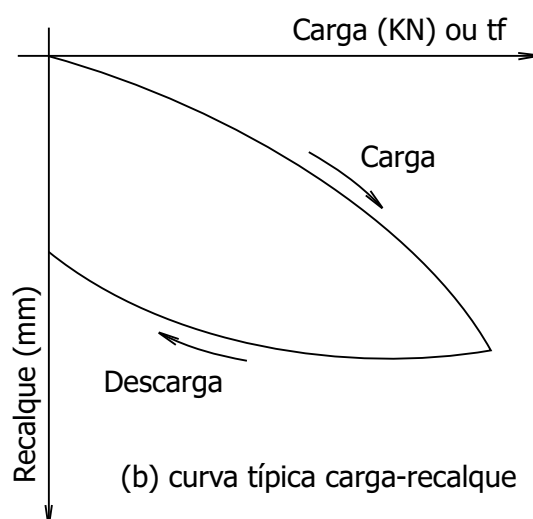
O PDA processa os dados recebidos dos transdutores e processa-os obtendo sinais de velocidade (integração da aceleração) e de força (lei de Hooke aplicado ao sinal de deformação específica). A interpretação desses sinais fornece a estimativa da carga mobilizada durante cada golpe do pilão. Cabe lembrar que a carga mobilizada pelos golpes do pilão nem sempre corresponde à capacidade de carga geotécnica da estaca, pois a mesma depende da energia aplicada à estaca pelos golpes do pilão. Somente no caso em que essa energia seja suficiente para mobilizar toda a resistência do solo à volta da estaca é que esse valor medido pelo ensaio de carregamento dinâmico poderá se aproximar da capacidade de carga da estaca. Entretanto este valor somente poderá ser medido pelas tradicionais provas de carga estáticas, conforme se exporá a seguir.

9.2 - Provas de Carga Estática (Norma NBR 12131/2006 da ABNT)

As provas de carga estática consistem em se aplicar à estaca uma carga e medir os recalques correspondentes. Para tanto se emprega um macaco hidráulico que reage contra um sistema de vigas metálicas, que por sua vez se ancora em tirantes ou em estacas de tração. A utilização de estacas metálicas facilita a execução de provas de carga estática, pois se podem utilizar estacas do próprio bloco como elementos de tração, conforme se mostra na Foto 8.

Foto 8: Prova de Carga Estática

(a) ensaio



A prova de carga estática é o método mais confiável e indiscutível de se avaliar a capacidade de carga de uma estaca isolada. Os ensaios de carregamento dinâmico, embora sejam atrativos do ponto de vista de custo, sempre necessitarão de correlações. É por esta razão que alguns projetistas de fundações questionam os resultados dos ensaios PDA e sugerem que os mesmos sejam aferidos, pelo menos, por uma prova de carga estática.

9.3 PROVAS DE CARGA INSTRUMENTADAS

9.3 - Provas de Carga Instrumentadas

Quando se pretende verificar a transferência de carga estaca-solo utilizam-se "strain gages" solidarizados à estaca, e em pontos estratégicos conforme se mostra na Figura 9, onde se queria verificar a transferência de carga nas camadas de areia e na ponta da estaca.

Os "strain gages" baseiam-se no princípio da variação da resistência elétrica de fios que experimentam variação de comprimento, utilizando-se a "ponte de Wheastone". A aquisição de dados e a interpretação dos mesmos são mostradas na Figura 10. Com base nesses valores medidos é possível se determinar, para cada profundidade instrumentada, a carga atuante na estaca para cada nível de carregamento. O resultado da prova carga instrumentada da Figura 9 é mostrada na figura 11. Com base nessa figura percebe-se que após a descarga da estaca ainda restou uma carga residual na mesma, ou seja, a estaca "ficou presa", não conseguindo voltar totalmente. Mas um fato importante (posteriormente constatado em outras instrumentações), é que a carga de ponta das estacas metálicas, quando apoiadas em solo pouco portante (como é o presente caso) é muito próxima de zero, mostrando que não se pode considerar, para esse tipo de estaca, o padrão amplamente divulgado em nosso meio geotécnico de que a área da ponta que contribui para a capacidade de carga corresponde àquela obtida com o retângulo envolvente à seção transversal do perfil metálico.

Figura 9: Posição dos "strains-gages" na prova de carga nº 31

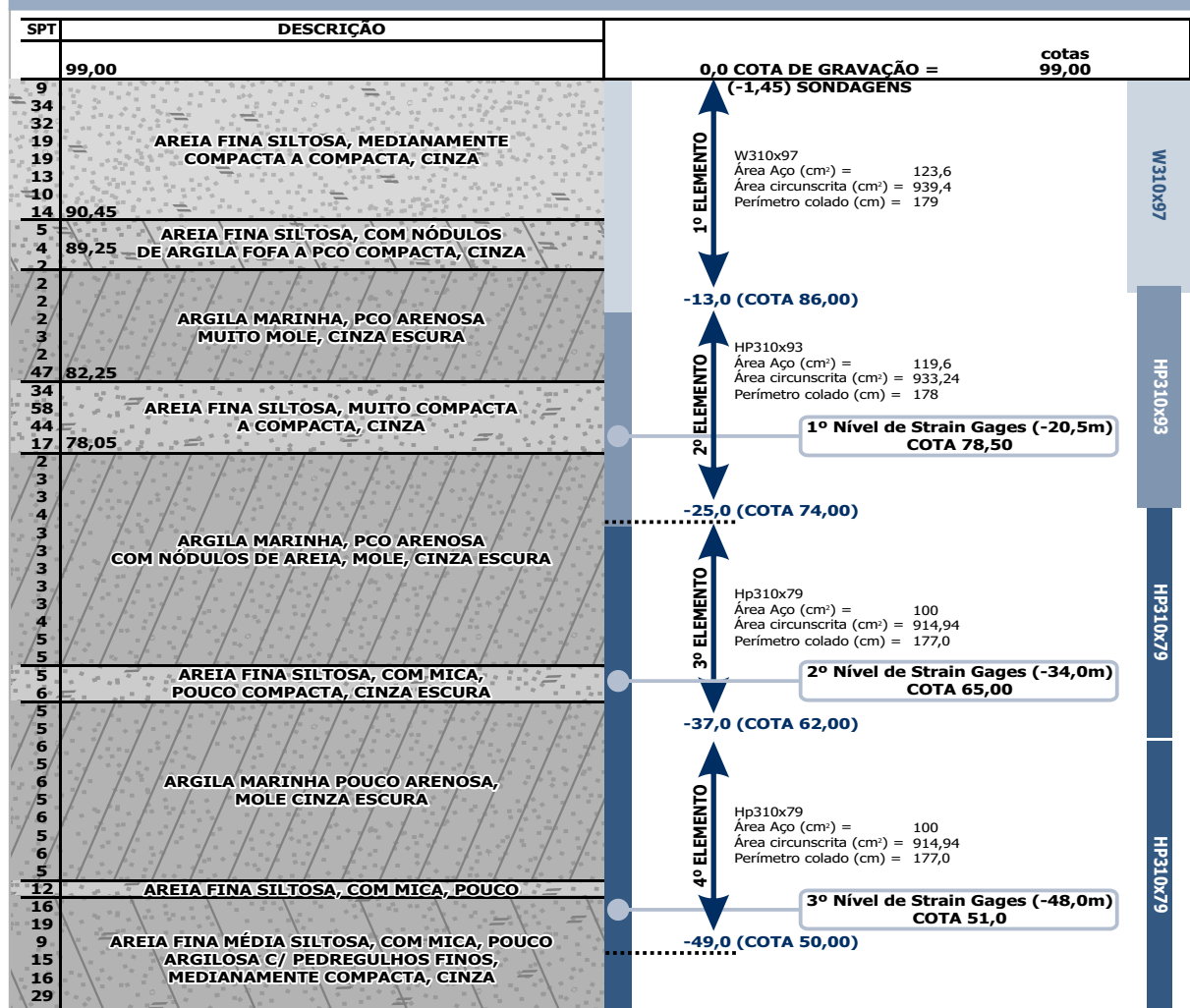


Figura 10: Sistema de aquisição de dados durante a instrumentação das estacas

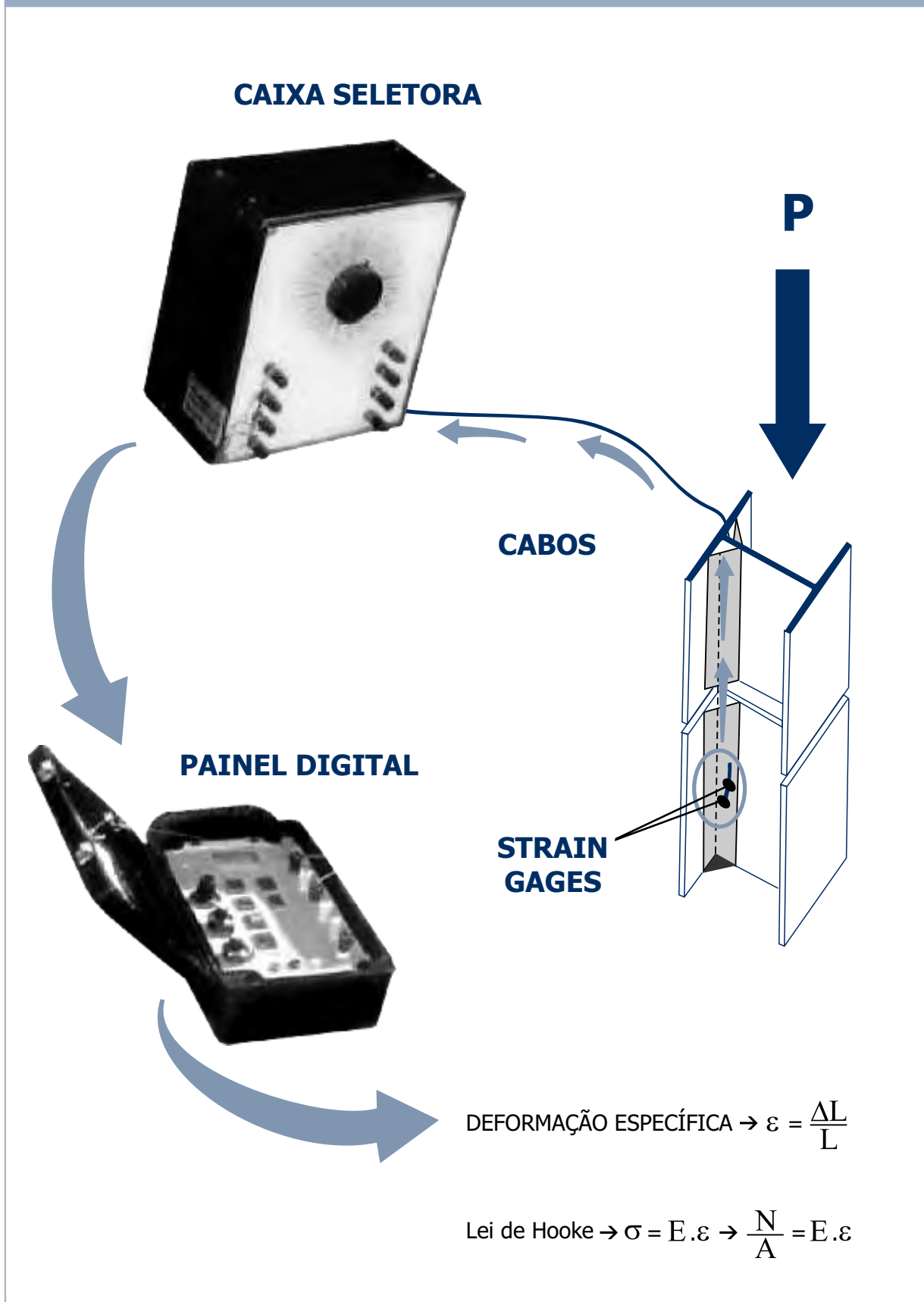
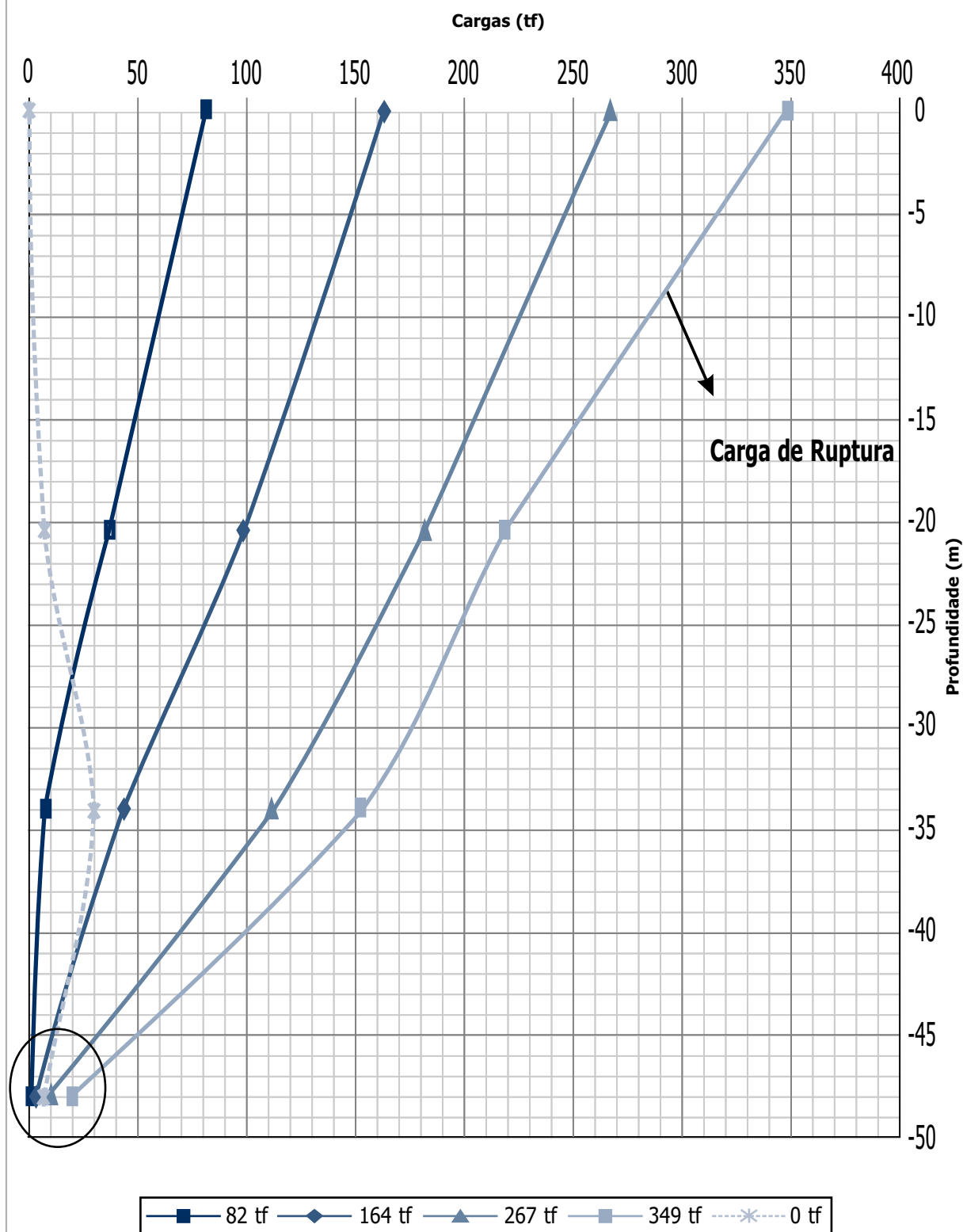


Figura 11: Provas de Carga - Distribuição da Carga com a Profundidade

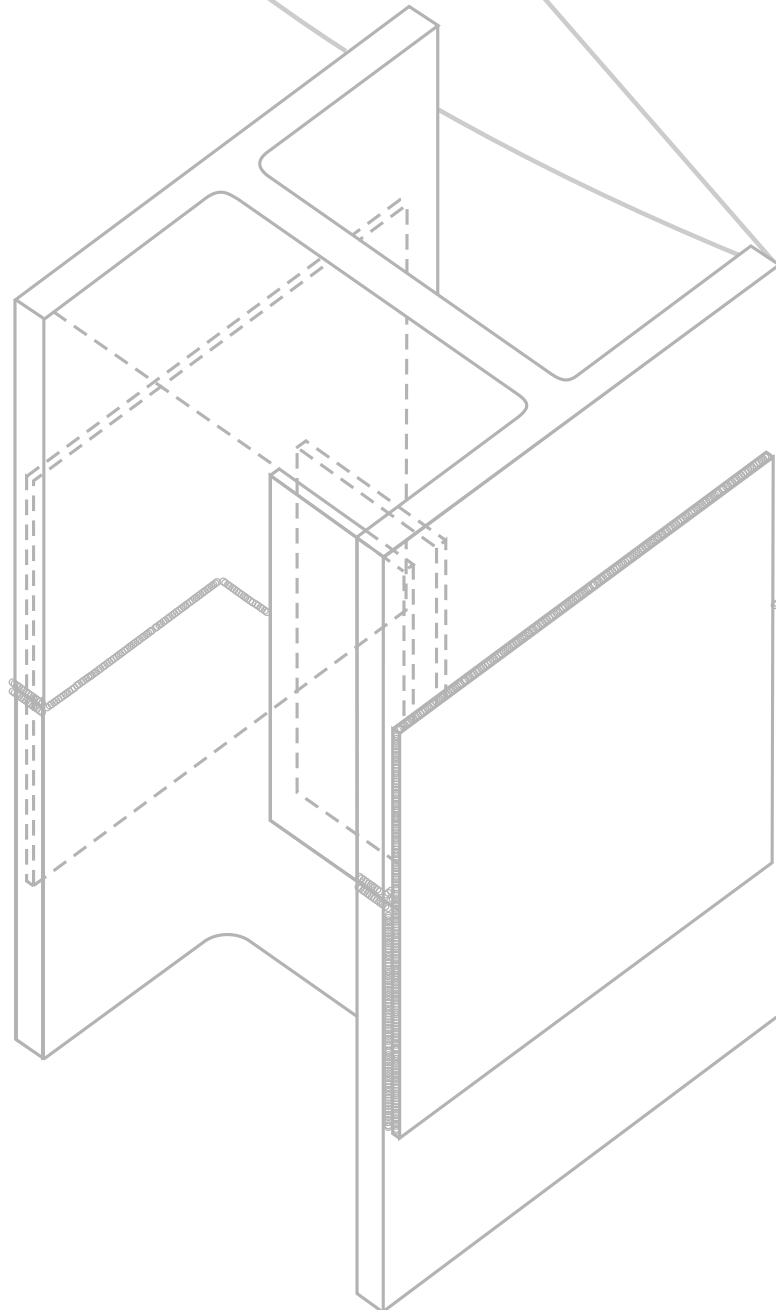
Obra/Local: Rua Tocantins - Santos - SP

Data: 08/12/2006



10

CASOS DE OBRAS



LOCALIZAÇÃO E METODOLOGIA PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS

Na Tabela 2 se apresenta a localização das cidades onde se executaram as provas de carga estáticas até a presente data, e nas Tabelas 3 e 4 os dados relevantes das mesmas. Caso se necessitem maiores informações sobre as mesmas pode-se contactar a equipe de suporte técnico da Gerdau Açominas através de carta ou pelo e-mail perfis@gerdau.com.br.

Para permitir a reconstituição da curva carga-deslocamento destas provas de carga foi elaborada a Tabela 3. Nesta tabela os deslocamentos são apresentados para pontos fixos de carga correspondentes a $0,25P$; $0,5P$; $0,6P$; $0,7P$; $0,8P$; $0,9P$ e P , sendo P a carga máxima do ensaio. Os valores superiores destas tabelas apresentam, para cada estaca, os recalques medidos durante a carga, e os inferiores durante a descarga. Analogamente é apresentada a Figura 2 com a sondagem à percussão junto a cada estaca. Nessa figura, o início dos dados do solo coincide com a cota de cravação da estaca. Para identificação do tipo de solo foi utilizada a convenção de 3 algarismos. O algarismo 1 significa areia, o 2 silte e o 3 argila.

Quando não existe um determinado tipo de solo usa-se o algarismo 0 para completar a série de 3 algarismos. Por exemplo, o solo classificado como 123 significa areia silto argilosa e o solo classificado como 320 corresponde a uma argila siltosa.

Tabela 2: Localização e dados relevantes das estacas ensaiadas à compressão

PC n ^o	LOCALIZAÇÃO			ESTACA		P máx (tf)
	Est.	Cidade	Endereço	Composição (*)	(m)	
1	PE	Recife	Av. Boa Viagem	HP 310 x 125 – 110 - 93 -79 (6 -12 -12-12)	42	361
2			Av. Cais Sta. Rita	HP 310 x 125 – 93 - 79 (14,7 -12 -12)	38,7	479
3			Av. Boa Viagem	HP 310 x 93 (18,50)	18,5	300
4		Jaboatão	Av.Barreto Menezes	W 410 x 67 – 53 (15,9 -12,1)	28	210
5	BA	Salvador	Prédio na Costa Azul	W 250 x 73 (14,20)	14,2	240
6	ES	Vitória	R. Aleixo Neto	W 150 x 37,1 (28,5)	28,5	160
7			Av.N.Sa.Navegantes	W 150 x 37,1 (23,5)	23,5	160
8			Bairro Vermelho	W 150 x 37,1 (19)	19	90
9	RJ	R. Janeiro	R.Vol. da Pátria	W 310 x 52 (38,50)	38,5	193
10		Santa Cruz	CSA	W 610 x 155 (35,50)	35,5	468
11			CSA	W 610 x 125 (40,50)	40,5	497
12			CSA	HP 310 x 125 (39,00)	40,5	382
13		S.J.Barra	Terminal Portuário	HP 310 x 125 (39,00)	39	424
14			Terminal Portuário	HP 310 x 125 (38,50)	38,5	330
15			Terminal Portuário	HP 310 x 125 (38,50)	38,5	330
16		Macaé	Av. Elias Agostinho	W 150 x 29,8 (6,55)	6,55	120
17		São Paulo	R. Maria Cândida	HP 310 x 110 – 93 - 79 (10 -6 -12)	28	400
18		S. Caetano	R. José Benedetti	HP 310 x 79 (18,8)	18,8	234
19		Guarujá	Cais Conceiçãozinha	(mista) SCAC70 (23,10m)+ W 610 x 155 (10m)	33,1	220
20			Av.do Parque	W 200 x 46,1 - 35,9 (24 – 24)	48	165
21			R.Vitória Yunes Stefane	HP 319 x 79 (32)	32	288
22			Av.Gal. Monteiro Barros	HP 310 x 110 – 93 – 79 (15 – 12 – 16,9)	43,9	360
23		Bertioga	Av. Thomé de Sousa	HP 250 x 62 (29,7)	29,7	240
24			Av. Thomé de Sousa	HP 250 x 62 (29,7)	32,4	240
25		P. Grande	Av. Castelo Branco	HP 310 x 110 - 93 - 79 (14,30 - 12 - 24)	50,3	400
26	SP	Santos	Cereal Sul	HP 250 x 89 - 80 - 73 - 62 (4,85 - 12 - 12 - 12)	40,85	325
27			R. Minas Gerais	HP 310 x 125 – 110 - 93 - 79 (10,5 - 12 - 12 - 12)	46,5	386
28			Canal 6	HP 310 x 110 - 93 -79 (7,5 -12 - 24)	43,5	383
29			R. Dom Lara	W 310 x 107 - 97 - HP 93 - 79 (11,1 - 12 - 12 - 12)	47	396
30			R. Álvares Azevedo	HP 310 x 110 - 93 - 79 (8 - 8 - 32)	48	302
31			R. Tocantins	W 310 x 97 HP 310 x 93 - 79 (13 – 12 – 24)	49	350
32			Av. Rei Alberto	HP 310 x 110 - 93 (18,3 - 36)	54,3	334
33			R. Castro Alves	HP 310 x 117 - 97 - 93 -79 (17,4 - 12 - 12 - 12)	53,4	418
34			R.Cel.Pedro Arbus	HP 250 x 85 W 250 x 80 - 73 (15 - 12 - 24)	51	320
35			R. Álvaro Alvin	HP 310 x 125 - 110 (29,4 - 24)	53,4	329
36		Santos	R. Vahia de Abreu	HP 310 x 110 - 93 -79 (12 -12 - 30)	52	384
37			P. Fernandes Pacheco	HP 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (15 -12 – 12 - 12)	51	350
38			R. Cyria	HP 310 x 125 - 110 - 93 - 79 (10,8 - 12 - 12 - 6)	40,8	400
39			R. Clay Presgrave	HP 310 x 117 - 110 - 107 - 97 (17 - 12 - 12 - 12)	53	400
40			R. Bahia	W 310 x 107 - 97 - 93 - 79 (12 - 12 - 12 - 11,5)	47,5	391
41						
41	SC	Itajaí	TECONVI	(mista) PROTENSUL 70 x 70 (13,10m) + W 610 x 101 (7,50)	20,6	463

(*) HP 310 x 125 – 110 - 93 -79 (a - b - c - d) significa (do topo para a ponta da estaca):
HP 310 x 125 c/a m; HP 310 x 110 c/b m; HP 310 x 93 c/c m e HP 310 x 79 c/d m

Tabela 3: Recalques (mm) das estacas comprimidas
Valor de r sob carga máxima $P_{\text{máx}}$ correspondente ao recalque residual (para $P=0$ na descarga)

PC nº	Cidade	l (m)	P máx tf resid.	Valores superiores para carga e inferiores para descarga						
			0,25Pmax	0,5Pmáx	0,6Pmax	0,7Pmax	0,8Pmáx	0,9Pmáx	Pmáx	
1	Recife	42,00	361	5,77	11,83	15,61	19,03	23,64	27,33	32,82
			r = 6,44	18,60	26,50	28,65	32,00	32,35	32,80	-
2	Recife	38,70	479	5,50	14,80	19,80	25,80	32,00	37,40	41,39
			r = 4,12	19,00	31,50	35,00	38,40	40,50	41,00	-
3	Recife	18,50	300	2,60	6,19	7,59	9,02	10,38	11,84	13,06
			r = 0,96	5,30	8,70	10,01	11,95	12,54	12,60	-
4	Jaboatão	28,00	210	5,60	10,00	12,80	15,80	18,50	21,00	23,81
			r = 0,48	8,00	12,00	16,50	21,00	22,50	23,00	-
5	Salvador	14,20	240	4,60	10,00	12,00	13,80	16,00	16,50	20,58
			r = 3,37	6,50	14,60	16,20	17,50	18,80	20,00	-
6	Vitória	28,50	160	3,11	8,82	11,73	14,51	17,82	21,45	26,38
			r = 8,49	15,00	24,00	25,67	26,30	26,35	26,38	-
7	Vitória	23,50	160	6,00	10,17	13,86	16,41	19,70	23,03	25,88
			r = 4,02	11,00	18,50	21,43	23,00	24,97	25,50	-
8	Vitória	19,00	90	5,00	6,17	8,03	14,40	18,10	27,07	36,83
			r = 30,04	34,00	35,80	36,00	36,50	36,60	36,80	-
9	Rio de Janeiro	38,50	193	0,70	3,60	6,40	8,00	14,60	23,00	32,30
			r = 6,00	20,00	26,00	28,00	30,00	32,00	32,30	-
10	Rio de Janeiro	35,50	468	5,50	14,00	17,00	21,50	26,00	30,80	35,90
			r = 0,18	10,00	20,50	24,50	27,50	30,50	32,50	-
11	Rio de Janeiro	40,50	497	10,50	24,00	30,00	36,50	42,50	52,00	62,60
			r = 5,21	20,50	35,50	40,50	48,00	52,50	58,00	-
12	Rio de Janeiro	40,50	382	12,50	28,00	30,50	36,00	41,00	47,00	53,44
			r = 2,32	16,00	29,50	35,00	40,50	45,50	50,50	-
13	São João da Barra	39,00	424	3,00	10,00	13,00	16,00	19,50	23,00	27,28
			4,76	9,50	21,50	23,00	24,00	25,50	26,50	-
14	São João da Barra	38,50	370	3,53	10,12	13,82	17,56	21,92	28,52	28,52
			não estabilizou (ruptura geotécnica)							
15	São João da Barra	38,50	330	3,50	9,00	12,50	15,00	18,00	21,50	> 40,00
			não estabilizou (ruptura geotécnica)							
16	Macaé	6,55	120	3,00	5,40	6,10	7,20	8,00	8,90	9,65
			r = 0,48	4,00	7,00	8,00	9,00	9,50	9,60	-
17	São Paulo	28,00	400	5,11	13,43	17,00	21,50	25,00	29,00	37,43
			r = 16,29	23,50	31,50	34,00	37,00	37,40	37,40	-
18	Guarujá	18,80	234	6,00	10,50	13,00	15,50	17,50	20,00	24,04
			r = 6,84	14,50	19,00	21,50	23,00	23,50	24,00	-
19	Guarujá	33,10	220	3,50	5,50	7,50	9,50	12,00	17,50	33,00
			23	27,50	30,50	31,00	31,50	32,00	32,50	-
20	Guarujá	48,00	165	6,78	17,00	22,00	25,00	29,00	34,50	38,70
			r = 9,90	25,00	33,00	36,50	38,50	38,50	38,70	-
21	Guarujá	32,00	288	4,00	12,37	16,97	21,00	24,95	29,40	33,94
			r = 6,35	17,00	24,77	27,00	30,00	32,00	33,00	-
22	Guarujá	43,90	360	3,49	12,00	16,89	22,00	25,48	32,00	29,40
			r = 5,24	18,00	28,00	32,05	35,00	36,61	36,80	-
23	Bertioga	29,70	240	3,94	10,63	13,50	15,00	18,50	24,50	28,69
			r = 1,37	10,00	21,89	24,00	26,50	28,00	28,00	-
24	Bertioga	32,40	240	3,12	9,80	12,00	15,00	19,00	23,00	26,70
			r = 2,63	10,65	19,50	21,50	23,50	25,00	26,00	-
25	Praia Grande	50,30	400	5,00	13,83	17,13	20,54	26,08	30,59	35,29
			r = 3,75	18,00	26,15	28,40	31,00	34,05	34,27	-
26	Santos	40,85	325	7,00	23,50	30,00	36,00	44,00	51,00	68,58
			r = 27,84	44,00	59,00	63,00	65,00	66,00	67,00	-
27	Santos	46,50	386	4,21	10,40	16,71	20,00	30,30	40,00	56,14
			r = 24,98	35,00	45,00	47,00	49,00	50,00	55,00	-
28	Santos	43,50	383	4,80	13,00	20,00	26,00	33,00	42,00	121,70
			r = 79,6	95,00	104,00	112,00	114,00	116,00	118,00	-
29	Santos	47,00	396	7,00	16,00	20,00	28,00	38,00	55,00	101,54
			r = 80,06	93,00	100,00	101,00	101,00	101,00	101,00	-
30	Santos	48,00	302	3,00	10,00	16,00	19,00	24,00	29,00	36,11
			r = 8,97	20,00	30,00	32,00	34,00	35,00	36,00	-
31	Santos	49,00	350	6,50	17,00	21,00	25,00	31,00	39,00	54,58
			r = 22,39	38,00	48,00	51,00	53,00	54,00	54,50	-
32	Santos	54,30	334	3,74	12,50	16,50	21,20	27,35	32,00	44,93
			r = 10,22	23,50	34,70	38,00	43,40	44,80	44,90	-
33	Santos	53,40	418	5,00	14,00	18,00	24,00	32,00	40,00	47,92
			r = 8,06	25,00	37,50	43,00	47,80	47,90	47,90	-
34	Santos	51,00	320	4,00	14,00	20,00	26,20	33,70	41,50	58,04
			r = 20,80	37,00	50,00	54,00	55,00	57,00	57,50	-
35	Santos	53,40	329	4,50	11,50	17,00	20,00	25,00	31,50	56,20
			r = 29,11	40,00	48,50	51,00	54,00	55,00	56,00	-
36	Santos	52,00	384	8,26	17,25	23,00	28,00	36,50	44,00	60,93
			r = 24,06	40,00	50,00	54,00	55,00	58,00	60,00	-
37	Santos	51,00	350	8,00	18,00	22,00	28,50	33,00	39,00	67,98
			r = 35,16	55,00	65,00	66,00	66,50	67,00	67,50	-
38	Santos	40,80	400	5,00	14,15	18,02	23,00	28,30	32,90	38,35
			r = 19,79	28,00	34,00	34,65	37,00	37,70	38,00	-
39	Santos	53,00	400	5,08	11,91	17,00	22,50	27,50	34,00	42,08
			r = 10,32	24,96	32,66	35,50	38,00	40,00	42,00	-
40	Santos	47,50	391	8,00	17,00	21,50	26,68	35,00	43,00	50,87
			r = 25,69	39,00	46,00	47,69	48,00	49,57	50,00	-
41	Itajaí	20,60	463	1,50	4,00	4,80	5,72	7,58	10,31	12,25
			r = 3,66	houve ruptura de um dos tirantes de reação						

houve ruptura de um dos tirantes de reação

Tabela 4: Quadro resumo das provas de carga à compressão sobre as estacas

PC nº	Local	Descrição do solo e SPT (índice de resistência à penetração)																	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55							
01	Recife	120 321 132 320 231 100 5 7 13 12 26 34 7 7 6 6 4 4 5 5 4 6 7 10 9 24 23 27 3 3 4 4 3 4 4 3 8 5 4 4 6 24 12 14 26 24 32 45																	
02	Recife	123 321 120 321 123 321 130 7 14 15 13 8 3 5 17 18 17 5 24 4 5 5 22 26 30 30 29 22 21 22 19 2 4 3 4 5 4 7 5 4 5 5 7 7 29 37 60 >60																	
03	Recife	123 7 11 13 24 19 21 14 13 16 15 11 13 21 15 15 17 14 13 45 40 90																	
04	Jaboatão	130 300 320 123 3 4 3 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 3 1 2 2 4 11 10 29 33 36 31 60 50																	
05	Salvador	120 231 19 24 24 16 19 22 42 45 20 20 34 15 20 16 IP IP = impenetrável à percussão																	
06	Vitória	 3 15 8 16 1 1 1 2 2 3 3 3 3 3 3 4 5 5 5 5 4 5 6 7 35 IP IP = impenetrável à percussão																	
07	Vitória	130 230 18 8 6 4 1 1 1 5 8 8 7 8 26 7 8 12 16 12 11 24 35 30 30 IP IP = impenetrável à percussão																	
08	Vitória	100 310 300 7 2 2 13 1 1 2 2 2 1 1 4 2 3 4 2 1 3 30 IP IP = impenetrável à percussão (aguardar nova sondagem)																	
09	R. Janeiro	130 320 130 310 213 7 13 21 24 27 28 35 38 21 7 6 8 7 1 1 1 0 1 16 16 17 16 11 11 11 12 12 15 21 18 12 11 11 11 13 14 13 18 15 17																	
10	R. Janeiro	230 300 100 300 100 320 120 4 4 1 1 1 2 4 4 4 2 3 3 9 9 9 9 8 8 8 8 8 8 8 9 5 4 4 4 4 2 6 16 80 IP IP = impenetrável à percussão																	
11	R. Janeiro	320 100 310 100 120 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 5 1 2 1 7 2 4 4 7 7 5 7 7 11 20 38 31 15 18 26 26 24 IP IP = impenetrável à percussão																	
12																			
13	S. J. Barra	100 320 213 320 130 16 27 30 30 0 28 25 8 6 45 4 2 2 2 2 4 1 27 28 50 50 28 24 23 14 14 15 17 15 14 19 22 24 45 50 60 60 30 25 21 20 24																	
14	S. J. Barra	100 320 213 320 130 5 6 16 17 20 50 46 19 16 21 18 7 6 2 2 3 1 9 13 16 12 12 20 25 24 22 23 20 8 10 10 11 16 16 40 46 60 37 46 26 29																	

Código do Solo	100 Areia	200 Silto	300 Argila
	120 Areia Siltosa	210 Silto Arenoso	310 Argila Arenosa
	123 Areia Silto Argilosa	213 Silto Areno Argiloso	312 Argila Areno Siltosa
	130 Areia Argilosa	230 Silto Argiloso	320 Argila Siltosa
	132 Areia Argilo Siltosa	231 Silto Argilo Arenoso	321 Argila Silto Arenoso

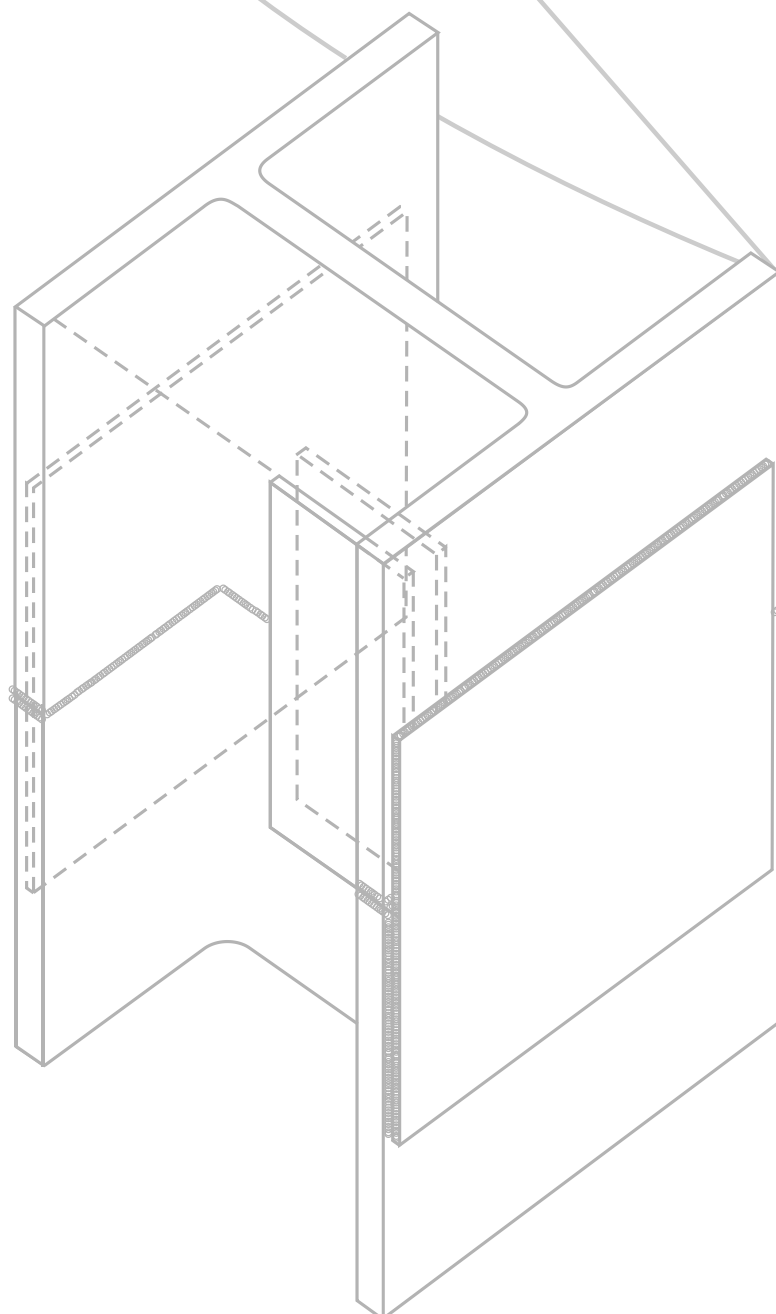
PC nº	Local	Descrição do solo e SPT (índice de resistência à penetração)
		5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55
15	S. J. Barra	
16	Macaé	100 IP = impenetrável à percussão
17	S. Paulo	300 120 123 132
18	Guarujá	231
19	Guarujá	Água 300 123 321 123 321 SEAC D=70cm parede 15cm Água
20	Guarujá	120 300 120 300 120 300 123
21	Guarujá	130 320 120 321 120 210 120 IP = impenetrável à percussão
22	Guarujá	100 300 130 321 130 120
23	Bertioga	123 300 120 IP = impenetrável à percussão
24	Bertioga	123 300 120 IP = impenetrável à percussão
25	P. Grande	130 320 130 320 130
26	Santos	100 300 IP = impenetrável à percussão
27	Santos	120 300 123 300 120

Código do Solo			
100	Areia	200	Silto
120	Areia Silty	210	Silto Arenoso
123	Areia Silty Argilosa	213	Silto Arenoso Argiloso
130	Areia Argilosa	230	Silto Argiloso
132	Areia Argilosa Silty	231	Silto Argiloso Arenoso
300	Argila	310	Argila Arenosa
312	Argila Arenosa Silty	320	Argila Silty
321	Argila Silty Arenosa		

Código do Solo	100 Areia	200 Silto	300 Argila
	120 Areia Siltoosa	210 Silto Arenoso	310 Argila Arenosa
	123 Areia Silto Argilosa	213 Silto Areia Argiloso	312 Argila Areia Siltoosa
	130 Areia Argilosa	230 Silto Argiloso	320 Argila Siltoosa
	132 AreiaArgilo Siltoosa	231 Silto Argilo Arenoso	321 Argila Silto Arenosa

11

BLOCOS DE COROAMENTO



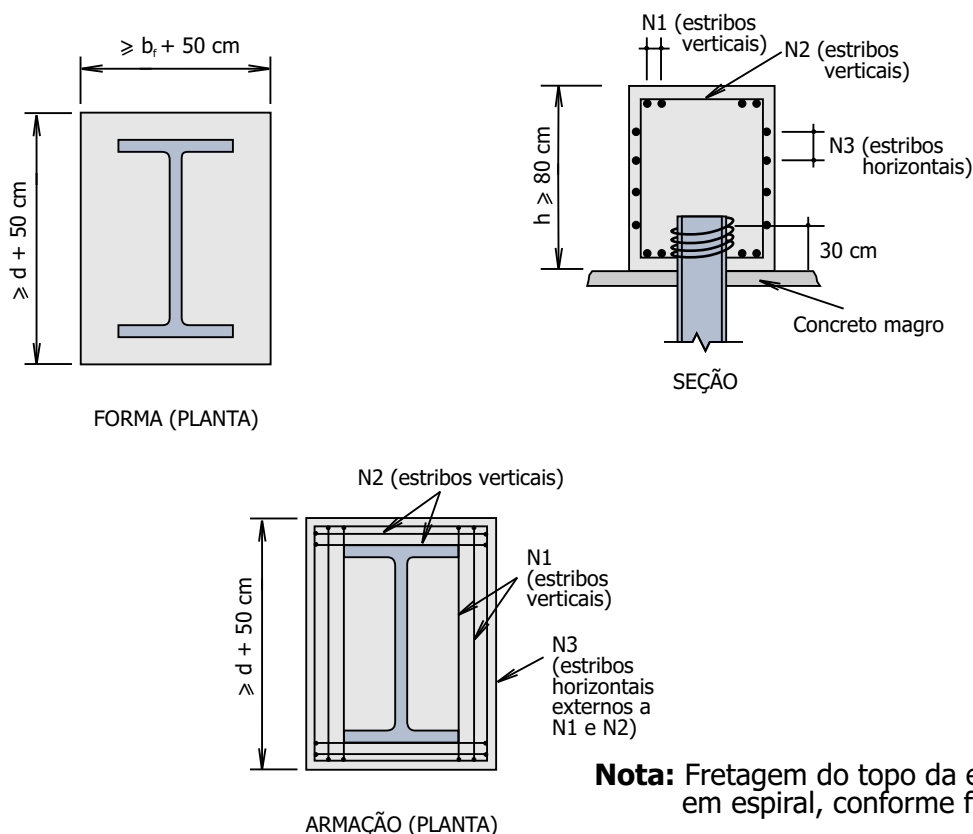
Neste capítulo apresenta-se a disposição típica das armaduras para a solução recomendada pela NBR 6122/1996 para o embutimento do perfil no bloco, conforme se mostra na Figura 6, por ser esta a opção de embutimento da estaca metálica no bloco por nós recomendada. Esta opção pressupõe que o bloco seja calculado como rígido. O cálculo da armadura não faz parte deste trabalho, pois depende das cargas aplicadas pelos pilares ao bloco, das dimensões dos pilares, do tipo de concreto, da rigidez do bloco, etc.

Quando não for possível utilizar bloco rígido, deve-se envolver o trecho embutido da estaca metálica no bloco, por uma espiral de aço para garantir que não haja ruptura por punção.

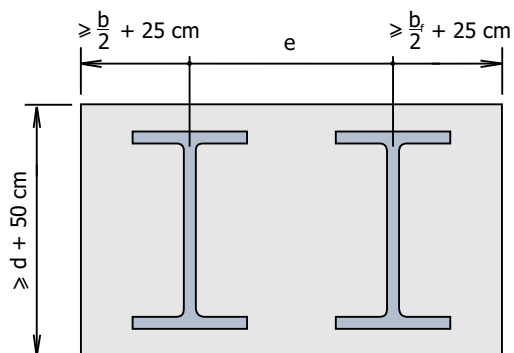
A NBR 6122/1996 não estipula espaçamento entre estacas. Entretanto, no item 7.7.2 dessa Norma exige-se que a carga admissível de um grupo de estacas não seja superior ao de uma sapata de mesmo contorno que o do grupo, e assente a uma profundidade acima da ponta das estacas igual a 1/3 do comprimento de penetração na camada suporte. Para efeitos práticos, não se deve usar espaçamento inferior a 100 cm entre eixo de estacas. Este espaçamento pode ser usado para os perfis metálicos $d < 40$ cm. Para os demais perfis pode-se adotar 150 cm como espaçamento mínimo.

Serão apresentadas apenas as disposições típicas da armadura dos blocos com 1, 2, 3 e 4 estacas, já que os blocos com 5 ou mais estacas seguem o padrão do bloco de 4 estacas.

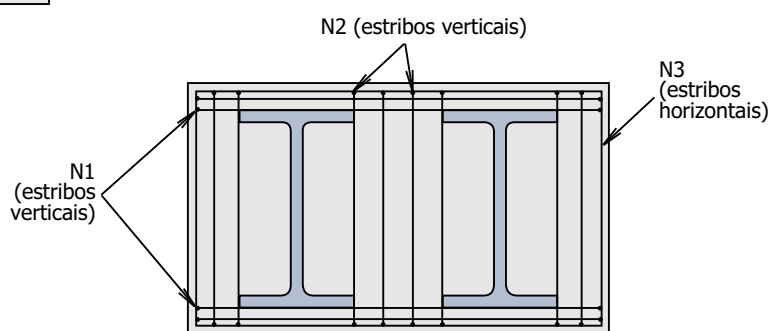
BLOCO COM 1 ESTACA



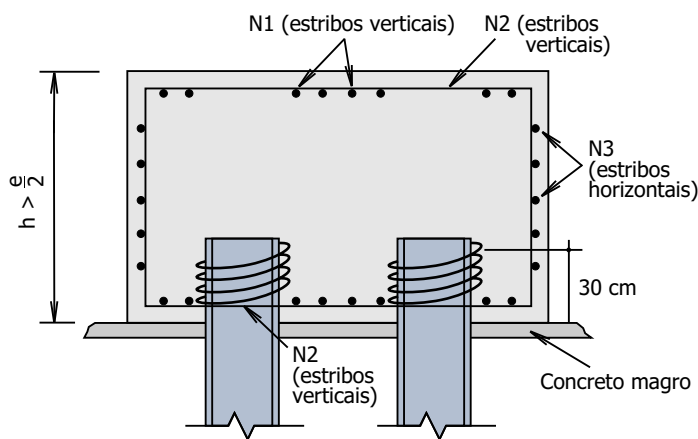
BLOCO COM 2 ESTACAS



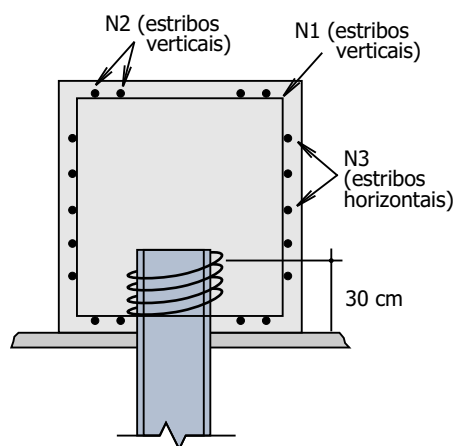
FORMA (PLANTA)



ARMAÇÃO (PLANTA)



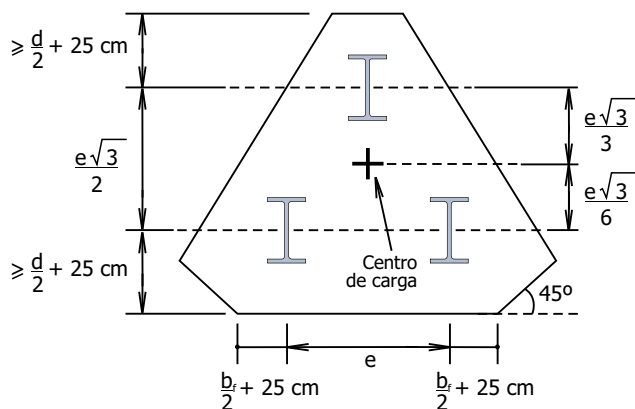
CORTE LONGITUDINAL



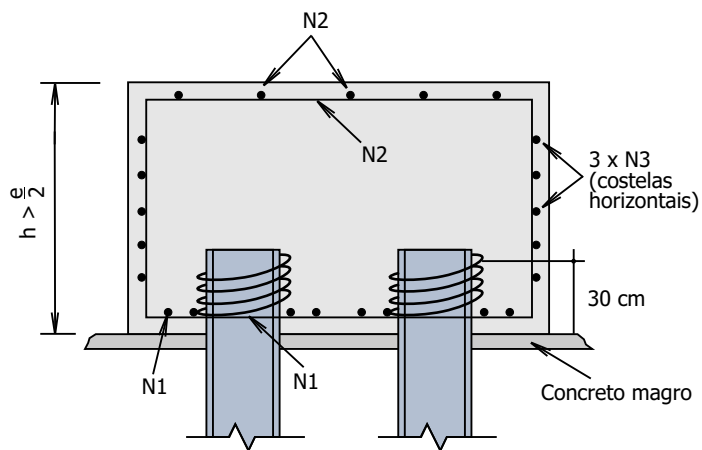
CORTE TRANSVERSAL

Nota: Fretagem do topo da estaca em espiral, conforme figura 6.

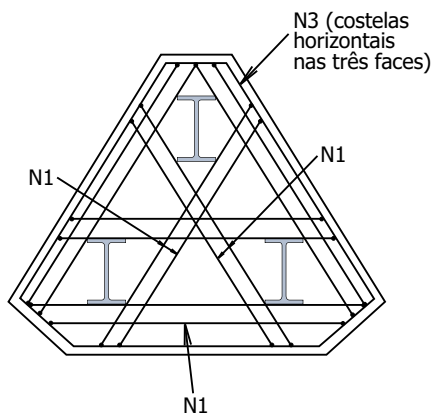
BLOCO COM 3 ESTACAS



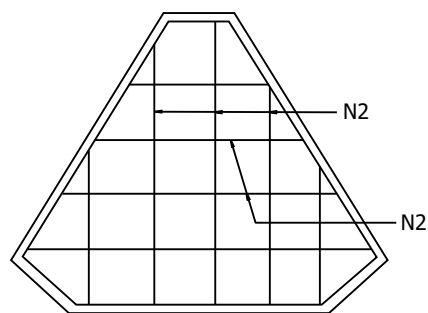
FORMA



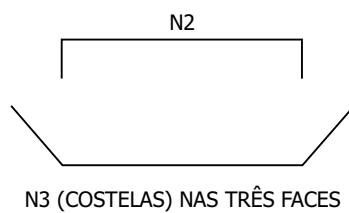
CORTE



ARMADURA INFERIOR



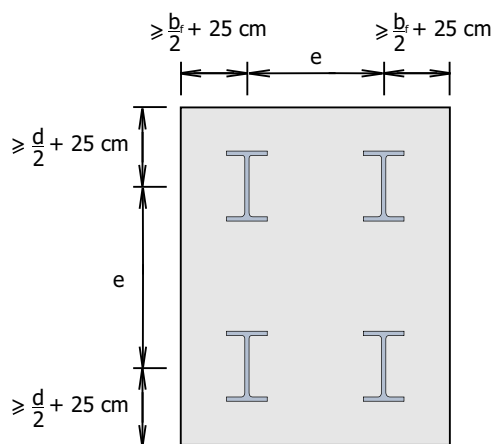
ARMADURA SUPERIOR



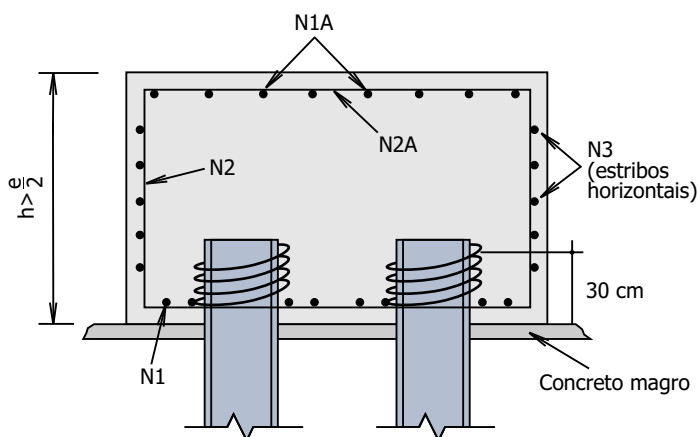
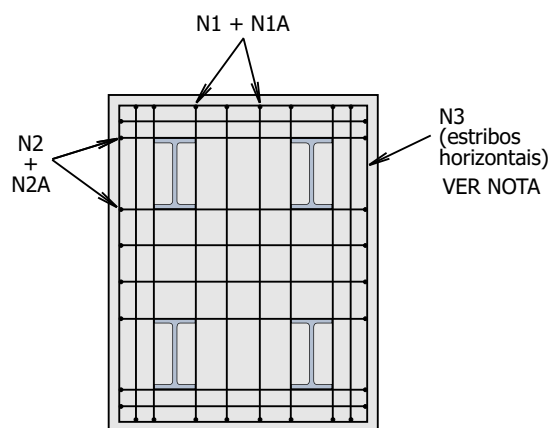
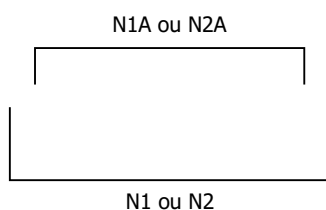
N3 (COSTELAS) NAS TRÊS FACES

Nota: Fretagem do topo da estaca em espiral, conforme figura 6.

BLOCO COM 4 ESTACAS



FORMA (PLANTA)

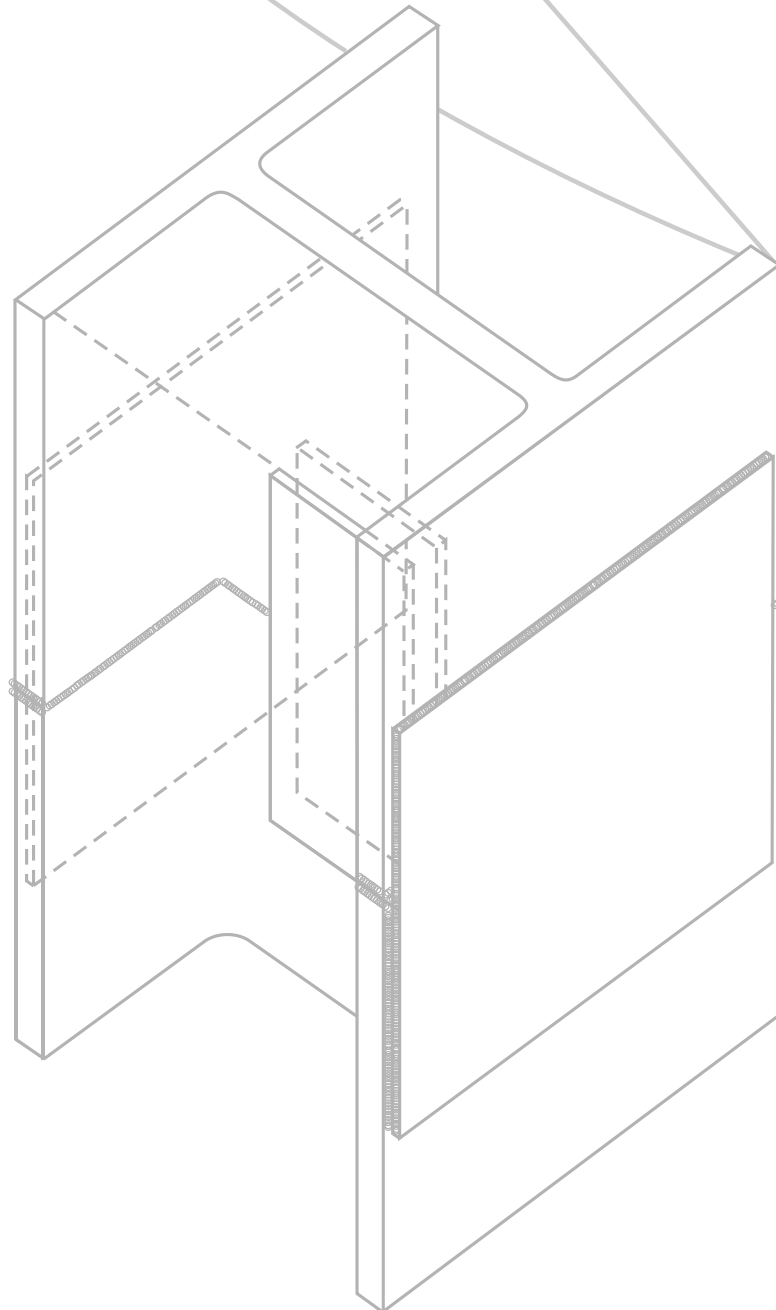


N3 (COSTELAS) NAS QUATRO FACES

- Nota:** 1) Os estribos horizontais poderão se substituídos por "costelas"
- 2) Fretagem do topo da estaca em espiral, conforme figura 6.

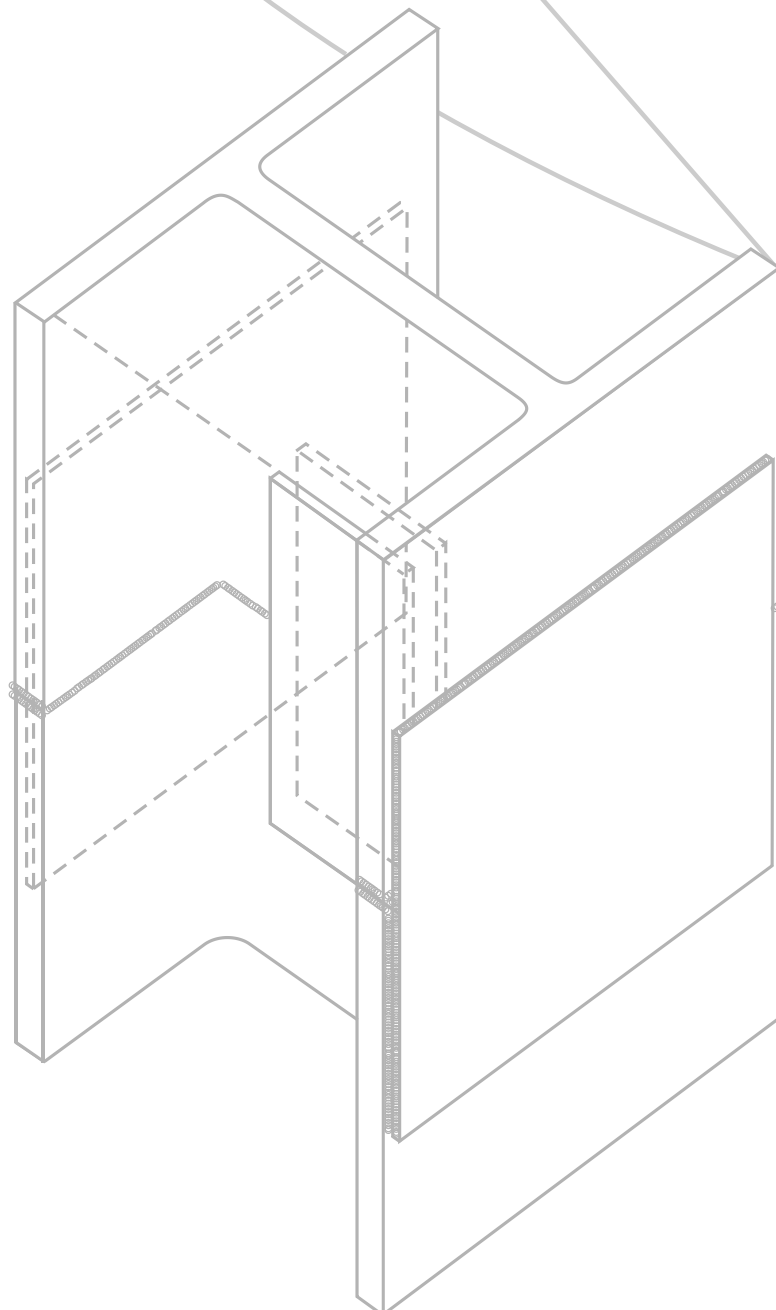
12

ANEXOS



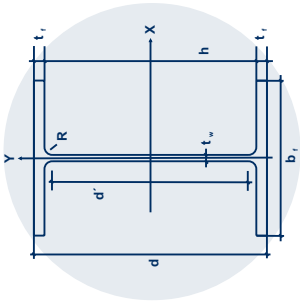
ANEXO I

Tabela de Bitolas



CARGA ADMISSÍVEL ESTRUTURAL														
BITOLA DESIGNAÇÃO mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _t mm	Espesura		h mm	d' mm	Área Bruta A _s cm ²	Perímetro U cm	Eixo X - X		Eixo Y - Y		1.5 mm desc. no Perímetro
				t _w mm	t _r mm					I _x cm ⁴	W _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	
W 150 x 22,5	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	88	1.229	162	387	51	15,7
W 150 x 29,8	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	90	1.739	221	556	73	25,0
W 150 x 37,1	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	91	2.244	277	707	92	34,2
W 200 x 35,9	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	103	3.437	342	764	93	30,2
W 200 x 41,7	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	104	4.114	401	901	109	37,9
W 200 x 46,1	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	119	4.543	448	1.535	151	40,8
W 200 x 52,0	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	119	5.298	514	1.784	175	49,1
HP 200 x 53,0	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	120	4.977	488	1.673	162	50,2
W 200 x 59,0	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	120	6.140	585	2.041	199	58,0
W 200 x 71,0	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	122	7.660	709	2.537	246	72,8
W 200 x 86,0	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	123	9.498	856	3.139	300	92,4
HP 250 x 62,0	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	147	8.728	710	2.995	234	57,5
W 250 x 73,0	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	148	11.257	890	3.880	306	70,4
W 250 x 80,0	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	149	12.550	980	4.313	338	79,5
HP 250 x 85,0	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	150	12.280	967	4.225	325	86,1
W 250 x 89,0	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	150	14.237	1095	4.841	378	91,4
W 250 x 101,0	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	151	16.352	1239	5.549	432	106,1
W 250 x 115,0	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	153	18.920	1407	6.405	495	123,2
HP 310 x 79,0	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	177	16.316	1091	5.258	344	73,4
HP 310 x 93,0	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	178	19.682	1299	6.387	415	92,4
W 310 x 97,0	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	179	22.284	1447	7.286	478	96,8
W 310 x 107,0	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	180	24.839	1597	8.123	531	109,5
HP 310 x 110,0	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	180	23.703	1539	7.707	497	114,0
W 310 x 117,0	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	180	27.563	1756	9.024	588	122,9
HP 310 x 125,0	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	181	27.076	1736	8.823	566	131,9
W 360 x 91,0	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	168	26.755	1516	4.483	353	90,8
W 360 x 101,0	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	168	30.279	1696	5.063	397	104,2
W 360 x 110,0	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	169	33.155	1842	5.570	435	115,2
W 360 x 122,0	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	170	36.599	2016	6.147	478	129,8
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	67	635	86	82	16	6,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	69	939	123	126	25	13,1
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	69	1.384	173	183	36	21,0
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	77	1.305	130	87	17	7,8
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	79	1.686	166	116	23	13,4
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	79	2.029	197	142	28	17,1
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	92	2.611	252	330	50	20,5
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	93	3.168	302	410	61	26,4
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	88	2.291	183	91	18	9,9
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	89	2.939	231	123	24	15,6
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	89	3.473	270	149	29	19,3
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	90	4.046	311	178	35	23,1
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	107	4.937	383	473	65	26,0
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	108	6.057	462	594	81	33,4
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	109	7.158	538	704	95	41,2
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	98	3.776	249	98	19	12,5
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	99	4.346	285	116	23	15,9

W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	100	5.500	356	158	31	21,5	315	5,73	45,20	0,91	404	41	W 310 x 28,3
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	100	6.570	420	192	38	27,1	319	4,72	41,12	0,94	525	54	W 310 x 32,7
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	125	8.581	554	727	88	31,0	512	8,51	46,66	0,93	594	61	W 310 x 38,7
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	126	9.997	639	855	103	38,3	520	7,41	41,00	0,95	757	77	W 310 x 44,5
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	127	11.909	751	1.026	123	48,0	529	6,33	35,61	1,00	993	101	W 310 x 52,0
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	117	8.358	479	291	46	24,5	443	7,47	53,10	0,87	441	45	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	118	10.331	585	375	59	32,4	452	5,98	47,32	0,91	607	62	W 360 x 39,0
W 360 x 44,0	44,0	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	135	12.258	696	818	96	37,4	602	8,72	44,70	0,93	716	73	W 360 x 44,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	136	14.222	801	968	113	44,4	607	7,37	42,75	0,94	865	88	W 360 x 51,0
W 360 x 57,8	57,8	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	137	16.143	902	1.113	129	52,0	616	6,56	38,96	0,96	1.036	106	W 360 x 57,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,6	146	17.890	1031	1.885	186	59,7	704	7,52	37,40	0,98	1.208	123	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	147	20.169	1152	2.140	210	69,2	714	6,75	33,47	1,00	1.433	146	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	148	22.713	1283	2.416	236	79,0	726	6,10	30,68	1,00	1.635	167	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	132	12.777	640	404	58	30,4	559	7,95	55,84	0,85	534	54	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	133	15.690	779	514	73	39,3	564	6,25	50,94	0,88	716	73	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	148	18.734	930	1.009	114	46,2	713	8,12	47,63	0,91	867	88	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	149	21.707	1067	1.205	135	53,8	724	6,95	46,42	0,92	1.023	104	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	150	24.678	1204	1.379	154	63,9	734	6,22	40,59	0,95	1.255	128	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	151	27.616	1337	1.559	173	73,2	743	5,63	36,80	0,97	1.475	150	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	152	31.658	1518	1.804	199	85,9	755	4,97	32,72	1,00	1.778	181	W 410 x 85,0
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	147	21.370	950	634	83	44,5	684	7,04	53,21	0,86	791	81	W 460 x 52,0
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	149	25.652	1128	796	104	53,9	696	5,75	50,55	0,88	985	100	W 460 x 60,0
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	150	29.851	1301	941	122	65,2	707	5,00	44,42	0,92	1.238	126	W 460 x 68,0
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	164	33.415	1462	1.661	175	70,3	868	6,55	44,89	0,92	1.342	137	W 460 x 74,0
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	164	37.157	1616	1.862	195	80,1	879	5,97	40,81	0,95	1.567	160	W 460 x 82,0
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	165	41.105	1776	2.093	218	89,3	889	5,42	38,44	0,96	1.778	181	W 460 x 89,0
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	166	44.658	1917	2.283	237	98,5	899	5,08	35,44	1,00	2.038	208	W 460 x 97,0
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	167	48.978	2089	2.515	259	110,0	910	4,71	32,05	1,00	2.278	232	W 460 x 106,0
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	167	34.971	1332	857	104	58,5	866	7,24	53,73	0,84	1.017	104	W 530 x 66,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	184	39.969	1526	1.615	156	64,0	1085	9,50	53,13	0,86	1.134	116	W 530 x 72,0
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	168	40.969	1549	1.041	125	69,8	878	6,10	49,26	0,87	1.261	129	W 530 x 74,0
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	185	47.569	1802	2.028	194	76,7	1104	7,86	50,25	0,88	1.398	143	W 530 x 82,0
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	169	48.453	1811	1.263	152	82,3	888	5,03	46,41	0,90	1.529	156	W 530 x 85,0
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	186	55.157	2070	2.379	228	89,7	1114	6,70	46,84	0,90	1.679	171	W 530 x 92,0
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	186	62.198	2317	2.693	256	102,0	1128	6,03	43,14	0,93	1.963	200	W 530 x 101,0
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	187	67.226	2494	2.952	280	111,6	1137	5,61	40,47	0,95	2.187	223	W 530 x 109,0
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	207	77.003	2554	2.951	259	99,3	1375	7,65	51,54	0,87	1.796	183	W 610 x 101,0
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	208	88.196	2901	3.426	301	114,1	1386	6,59	48,34	0,90	2.115	216	W 610 x 113,0
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	209	99.184	3241	3.933	344	128,8	1401	5,84	45,45	0,91	2.439	249	W 610 x 125,0
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	210	112.619	3651	4.515	393	147,8	1419	5,18	41,27	0,94	2.879	294	W 610 x 140,0
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	247	129.583	4242	10.783	666	161,1	1980	8,53	42,60	0,94	3.137	320	W 610 x 155,0
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	248	147.754	4797	12.374	761	185,6	2002	7,52	38,63	0,96	3.704	378	W 610 x 174,0



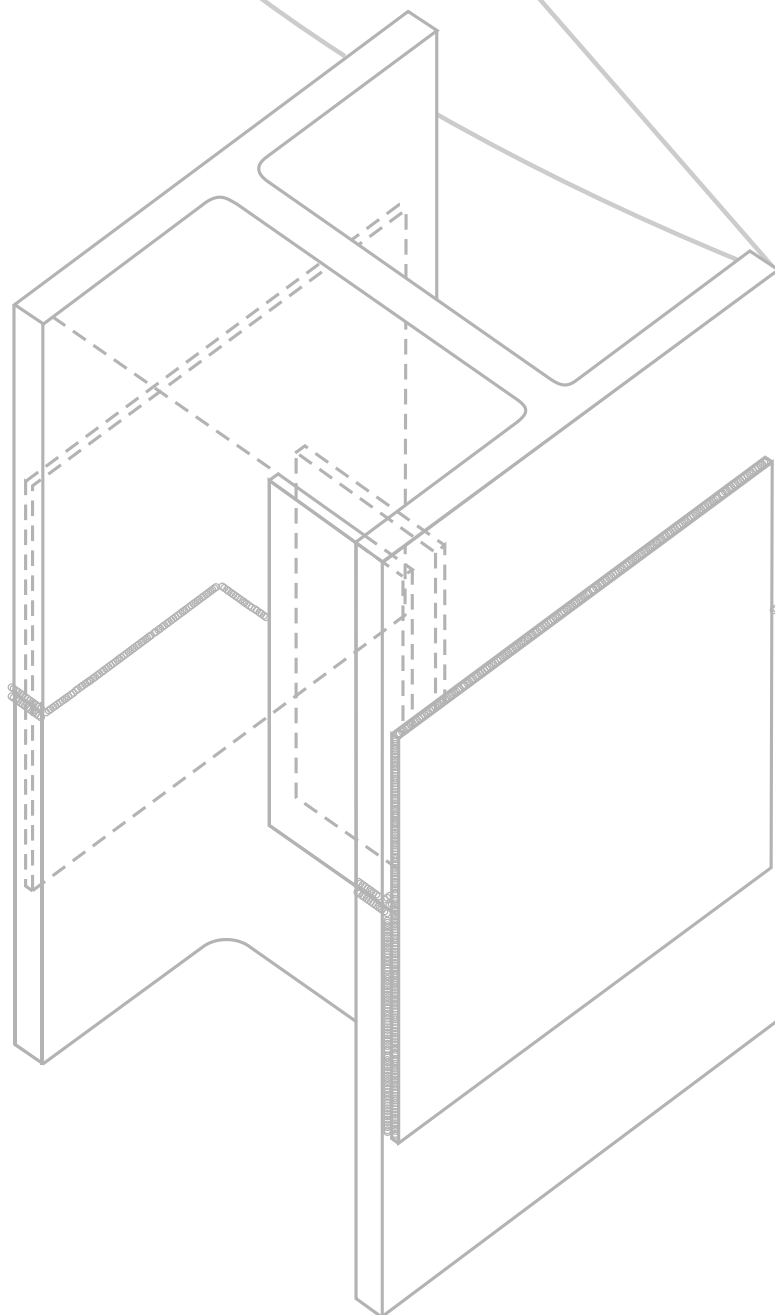
* Carga Admissível Estrutural de acordo com os itens 7.8.2.3.1 e 7.8.2.3.2 da NBR 6122/1996.
 A carga admissível a adotar para a estaca deverá atender também a carga admissível geotécnica
 (≤ao valor da tabela), obtida após a análise dos parâmetros geotécnicos onde a estaca será cravada.

ANEXO II

Transcrição do artigo

"Durabilidade de Estacas Metálicas Cravadas no Solo"

Fábio D. Pannoni e Raquel Palopoli Lazari*
publicado no SEFE VI



*Colaboração

Durabilidade de Estacas Metálicas Cravadas no Solo

Fabio Domingos Pannoni, Ph.D.

Raquel Palopoli Lazari*

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.

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 vasta 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.

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:



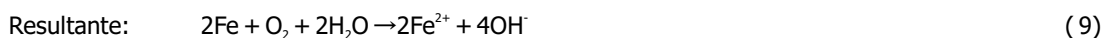
Como segundo exemplo, temos a corrosão do aço em soluções aquosas aeradas cujo pH esteja situado entre 4 e 6:



Um terceiro exemplo trata da corrosão do aço em soluções aquosas aeradas em que o pH esteja situado entre 6 e 10:



*Colaboração



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:



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

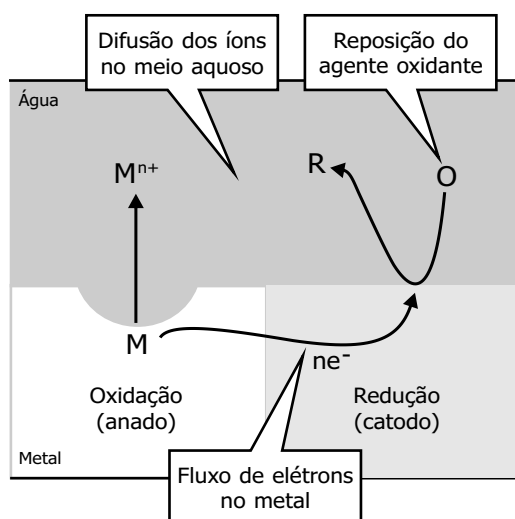


Figura 1: Esquema simplificado do processo de corrosão de um metal imerso em água, mostrando as principais reações envolvidas, a separação espacial das regiões anódica e catódica, assim como os principais fatores controladores do processo: difusão de íons no meio aquoso, difusão do agente oxidante até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

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, (Ampéres), 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 à 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:

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

A Corrosão de Estacas de Aço

A reação global que descreve o enferrujamento de uma estaca cravada em um solo com $\text{pH} \approx 7$ pode ser descrita pelas mesmas reações descritas anteriormente (eq. 7 – 9).

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 ao fato de que a velocidade da reação catódica é proporcional à concentração do reagente na superfície metálica, a velocidade da reação será limitada pela diminuição da concentração do oxidante. Desse 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.

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:

$$J = -D \left(\frac{\partial C_o}{\partial x} \right) \quad (11)$$

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.

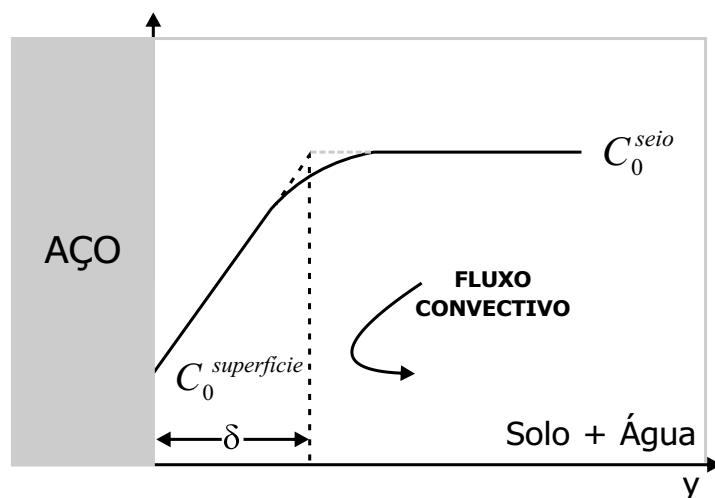


Figura 2: Perfil concentração-distância para o reagente catódico O, exaurido na superfície da estaca de aço. A linha sólida mostra o tratamento de Fick, e a linha tracejada indica a aproximação conhecida como "Camada de Difusão de Nerst".

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. 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 $x > d$, a concentração do oxidante no solo é mantida por processos de convecção (que não ocorrem de modo apreciável). Em contraste, para $x \leq d$, o reagente O é transportado até a superfície somente por difusão.

Utilizando o tratamento simplificado, a eq. (11) pode ser escrita como:

$$J = \frac{-D(C_o^{\text{superfície}} - C_o^{\text{seio}})}{\delta} \quad (12)$$

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

$$\frac{i_{\text{catódico}}}{nF} = \frac{-D(C_o^{\text{superfície}} - C_o^{\text{seio}})}{\delta} \quad (13)$$

Sob a condição limite $C_o^{\text{superfície}}$, uma corrente máxima é obtida:

$$(i_{\text{catódico}})_{\text{limite}} = \frac{nFDoC_o^{\text{superfície}}}{\delta} \quad (14)$$

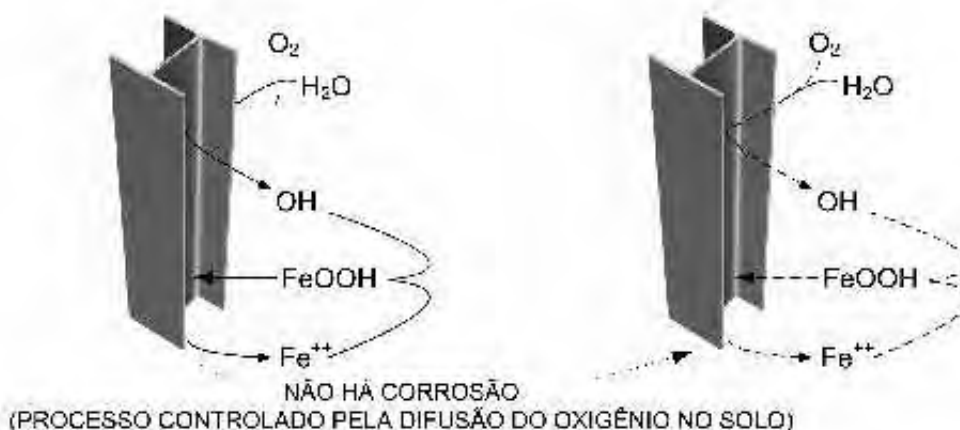
Como esta é a máxima corrente catódica que pode fluir, ela também representa a máxima velocidade de corrosão que pode ser atingida:

$$(i_{\text{corrosão}})_{\text{max}} = (i_{\text{catódico}})_{\text{limite}} = \frac{nFD_o C_o^{\text{superfície}}}{\delta} \quad (15)$$

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.

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



Solos com $\text{pH} < 4$

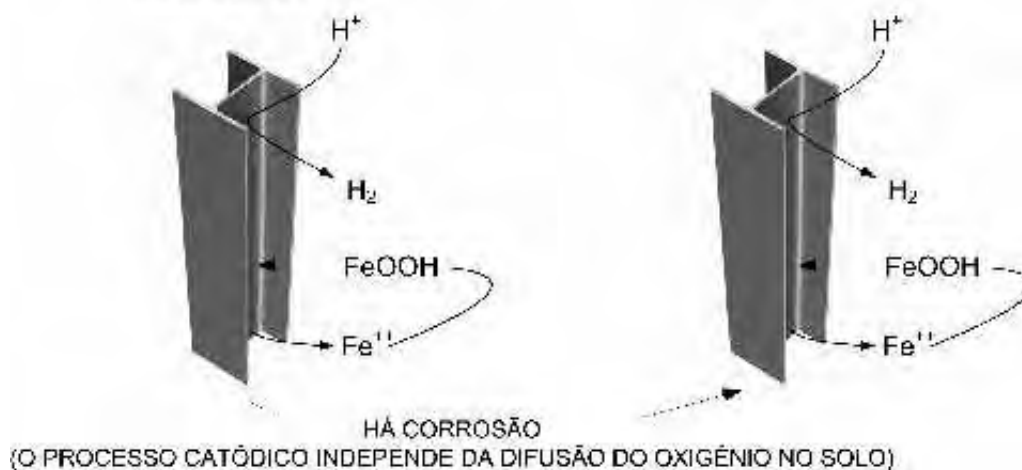


Figura 3: Ilustração do comportamento das estacas de aço imersas em solos com diferentes pH's. Estacas imersas em solos com $\text{pH} > 4$ não apresentam corrosão, pois dependem da difusão de oxigênio no solo, que é muito pequena. Por outro lado, estacas (de aço ou concreto) imersas em solos com $\text{pH}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

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.

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 código da AASHTO (1994) e o Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), que serão detalhados a seguir.

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.

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 1 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.

LRFD Design Specifications for Highway Bridges da AASHTO

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.

Tabela 1: 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 compacta - dos e não agressivos (argila, areia, silte, etc.)	0,18	0,7	1,2	1,7	2,2
Aterros não compacta - dos agressivos (cinzas, escórias, etc.)	0,5	2	3,25	4,5	5,75

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

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

Solos com resistividades menores do que 100 W.mm-1;

Solos com pH < 5,5;

Solos com 5,5 < pH < 8,5 que contenham alto teor de matéria orgânica;

Solos com $[SO_4^{2-}] > 0,10\%$;

Aterros recentes ou solos contendo cinzas;

Solos sujeitos à drenagem de minas ou de drenagem de indústrias;

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 são válidas tanto para o aço quanto para o concreto.

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 nela incorporados alguns dos piores resultados obtidos no Japão (Osaki 1982), conseguidos em solos especialmente ácidos ($\text{pH} < 4$). Assim, o valor sugerido para o desconto de espessura prescrito pela BS 8004 (1986) é, sabidamente, exagerado. Isto é tão verdadeiro que a exigência foi abrandada no Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 5: Piling (1993), que substituiu a BS 8004 (1986).

O trabalho do Ohsaki tratou da observação, por um período médio de 10 anos, de 126 estacas de aço, totalizando 1,93 km, cravadas nos mais variados tipos de solos e nível de lençóis freáticos. Devido ao fato de que este trabalho é universalmente considerado um marco no entendimento do fenômeno, tratou-se de reproduzir, a seguir, suas mais importantes conclusões: <1>Não houve variação, na magnitude da corrosão, para diferentes tipos de aço ou de solos; <2>A taxa de corrosão, na região próxima à superfície do terreno, é pouco maior do que no restante da estaca, mas, mesmo assim, muito pequena; <3>Não foi observada nenhuma correlação entre a consistência, ou compactidade dos solos e a corrosão; <4>Verificou-se uma leve tendência, que não foi considerada significativa, para o aumento da velocidade de corrosão em solos ácidos; <5>Nenhuma relação foi estabelecida entre a corrosão e a variação do nível freático; <6>A renovação da água do sub-solo por circulação não alterou as taxas de corrosão das estacas; <6>Verificou-se que as soldas foram um pouco mais corroídas do que as estacas, mas os aumentos nas taxas de corrosão foram desprezíveis; <7>Não houve influência das correntes de fuga, nem de subestações, nem de ferrovias, nas taxas de corrosão das estacas; e, <8>As velocidades de corrosão em ambas as faces das estacas tubulares foram da mesma ordem de grandeza.

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 Bibliográficas

- 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.
- 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).