

APLICAÇÕES

Estacas Tubulares Metálicas estão sendo utilizadas, em todo o mundo, com excelentes resultados, na fundação de prédios, pontes, estruturas portuárias, ancoradouros, tanques de armazenagem, estruturas "offshore" e outras estruturas permanentes.



ESTACAS TUBULARES METÁLICAS E PERFIS H

GRANDE CAPACIDADE DE CARGA

Estacas tubulares são elementos estruturais de grande capacidade portante (em comparação com outras estacas de deslocamento) e suas pontas podem ser engastadas, com sucesso, em camadas de solo de elevada capacidade de carga, mesmo quando muito íngremes.

ELEVADA RESISTÊNCIA A ESFORÇOS LATERAIS

A rigidez da seção transversal dá às estacas tubulares elevada resistência a momentos fletores. Além disso, elas podem ser produzidas em grandes diâmetros, com diferentes espessuras de parede, para que se atinja a desejada resistência, mesmo a esforços laterais consideráveis.

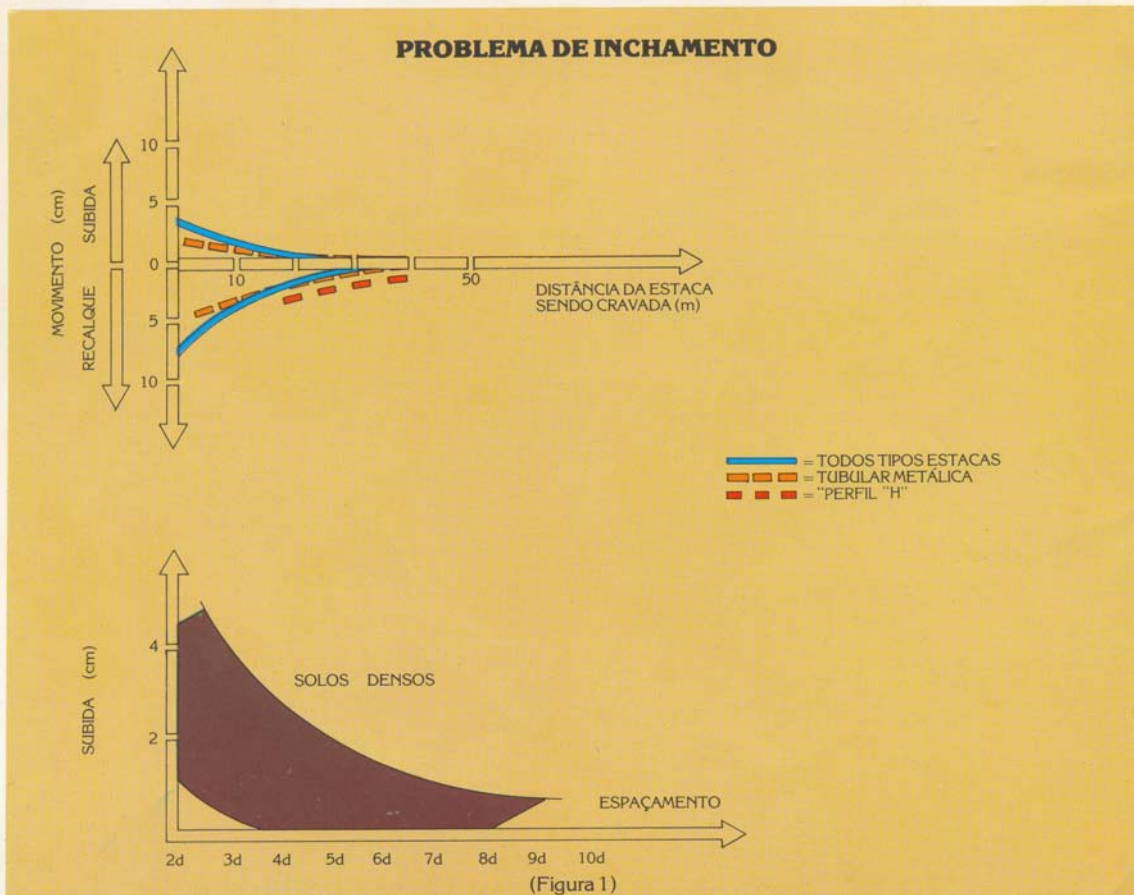
MÍNIMO DESLOCAMENTO DO SOLO (Figura 1)

Em solos moles e sensíveis, as estacas tubulares metálicas podem ser cravadas com grande eficiência e deslocamento mínimo do solo (o que não acontece com estacas maciças), devido à pequena área da seção transversal.

São ideais para fundação de estruturas com grande concentração de cargas - prédios muito elevados, grandes equipamentos, estruturas portuárias, etc. - porque permitem minimizar problemas de interferência (levantamento ou deslocamento horizontal) de estacas ou estruturas adjacentes.

FLEXIBILIDADE DE PROJETO E CRAVAÇÃO

A grande variedade de diâmetros e espessuras permite projetar as estacas para as cargas envolvidas, com sensível redução de custos. Para solos de consistência variável, as estacas metálicas podem ser fabricadas mais curtas ou mais longas, como necessário. Grandes profundidades podem ser atingidas pela emenda de tubos, por solda, formando juntas tão resistentes quanto outras seções da estaca. A mesma técnica permite o reaproveitamento de partes superiores excedentes das estacas, cuja penetração foi julgada suficiente pelo critério da "nega".



CONTROLE DE QUALIDADE

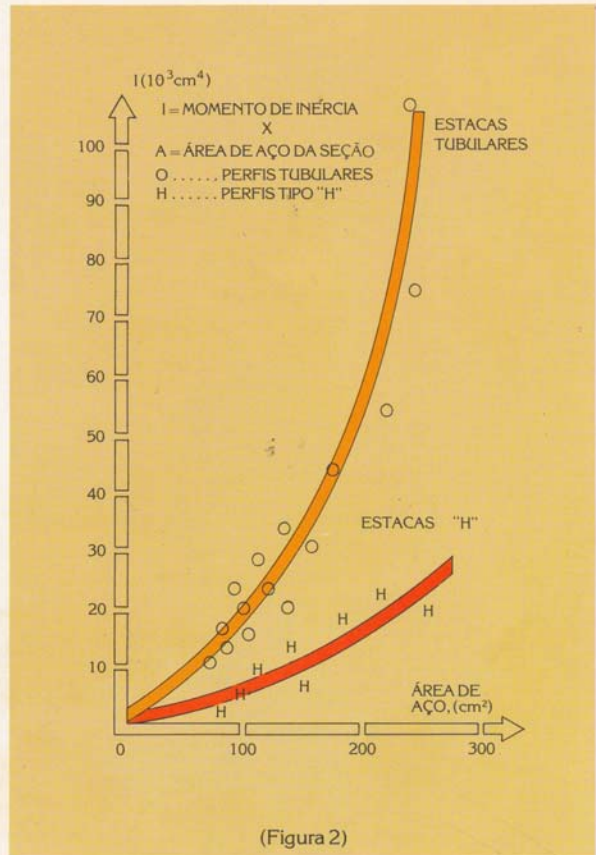
As estacas tubulares metálicas são inspecionadas em todas as fases de fabricação, desde o controle das matérias primas, enquanto a concretagem de estacas moldadas "in-loco" não podem ser fiscalizadas. Estacas pré-moldadas de concreto podem ser mal curadas ou danificadas, com facilidade, no transporte, levantamento ou cravação.

FISCALIZAÇÃO

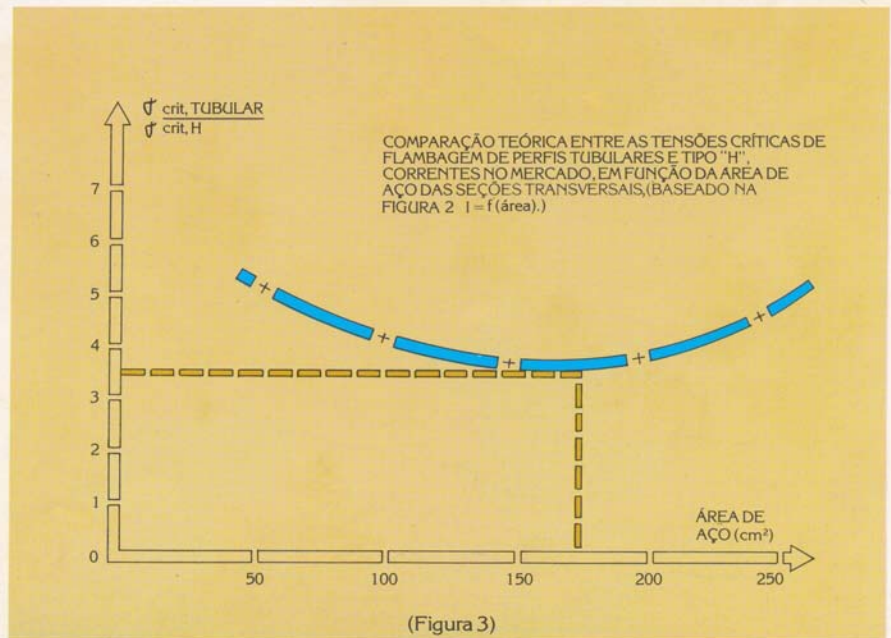
A cravação das estacas tubulares metálicas pode ser equacionada sem preocupação quanto ao lençol freático e, como todas as estacas cravadas, é fiscalizada, em canteiro, pelo critério da "nega".

MOMENTO DE INÉRCIA (Figura 2)

Para a mesma seção transversal, estacas tubulares têm momento de inércia maior que perfis H e, portanto, maior rigidez à flexão, torção e flambagem (Figura 3) durante a cravação, em decorrência de fatores diversos, como, por exemplo, desalinhamento da estaca devido a um núcleo mais rígido do sub-solo. Durante a cravação pode ocorrer a superposição de ondas consecutivas de choque, que provocam vibrações e danos ao contato solo-estaca e ao posterior comportamento da estaca. Nas estacas tubulares, com maior momento de inércia, as vibrações são menores e os danos minimizados. As estacas tubulares têm momento de inércia igual em relação a qualquer eixo, o que facilita sua locação em qualquer obra. São ideais para situações em que as cargas horizontais variam em direção e sentido, como por efeito de marés, etc.



(Figura 2)



(Figura 3)

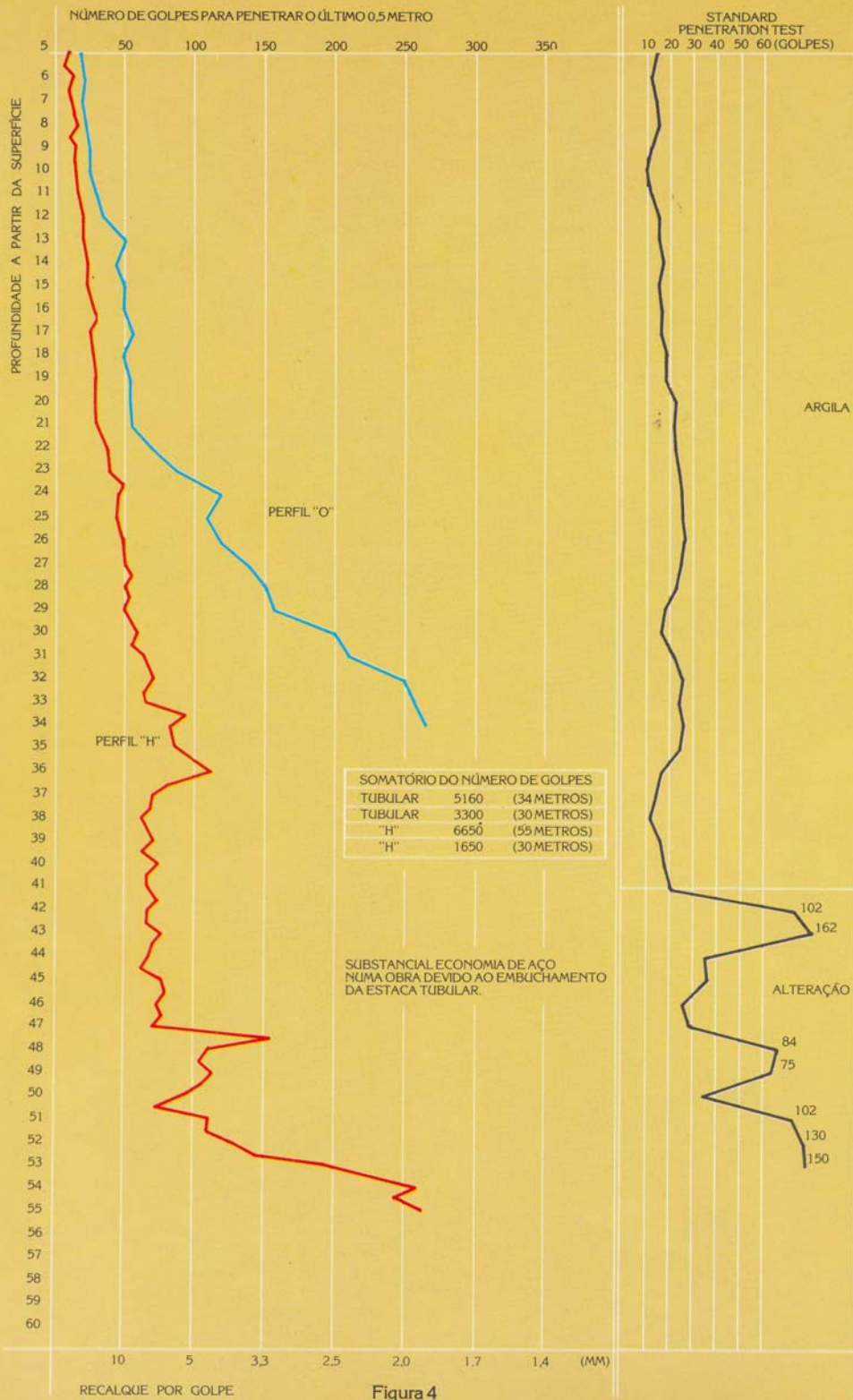


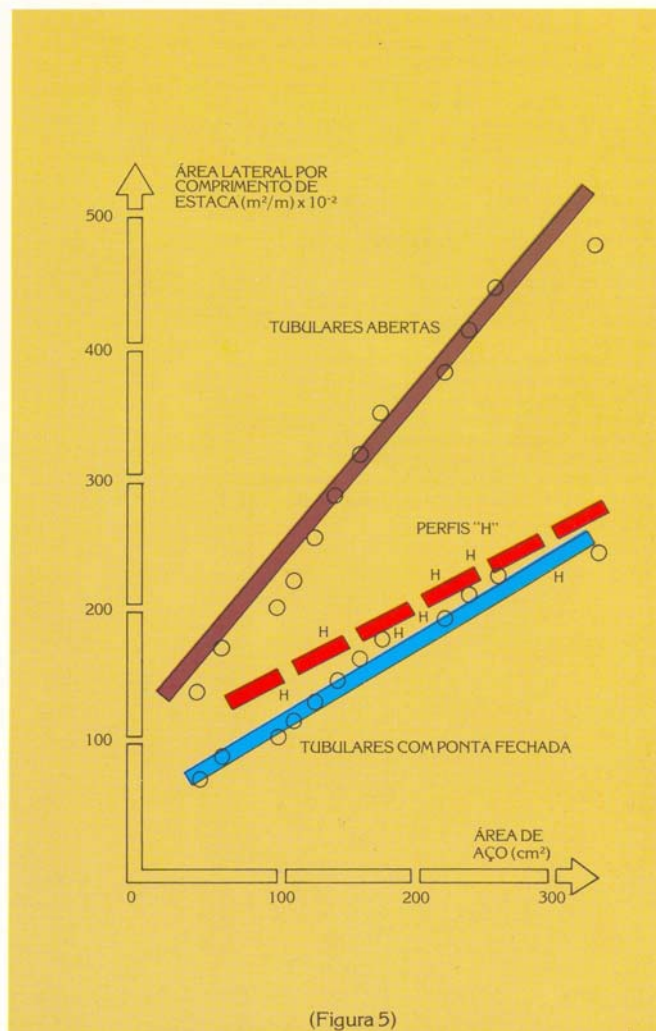
Figura 4

AUMENTO DA CAPACIDADE DO SOLO

Em determinados tipos de solos, onde ocorre o embuchamento, a estaca tubular metálica será de deslocamento, podendo causar o aumento da capacidade portante do solo. Se comparamos a cravação do perfil H com a cravação da estaca tubular (Figura 4), o embuchamento causará, uma substancial economia de aço na obra.

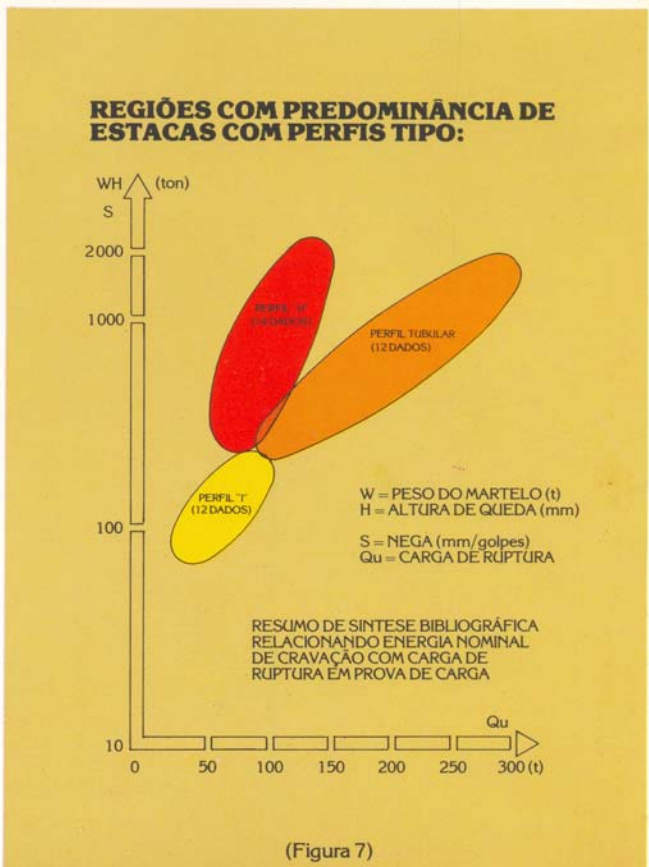
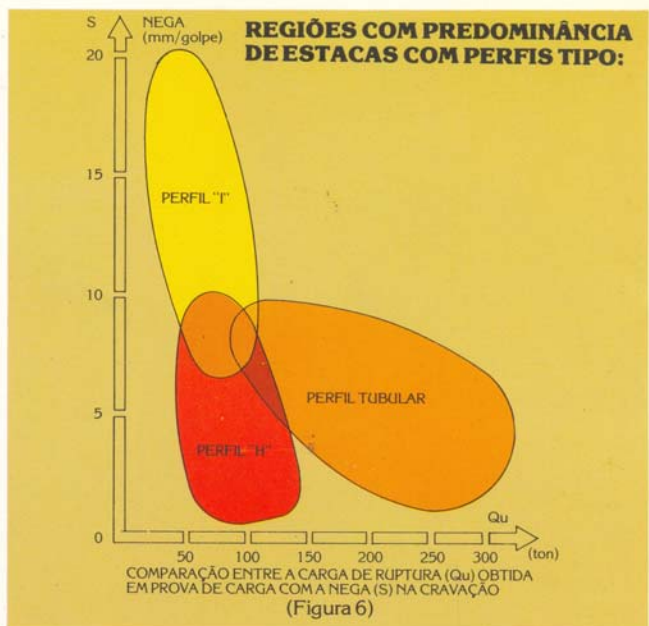
ESTACAS TUBULARES ABERTAS E FECHADAS

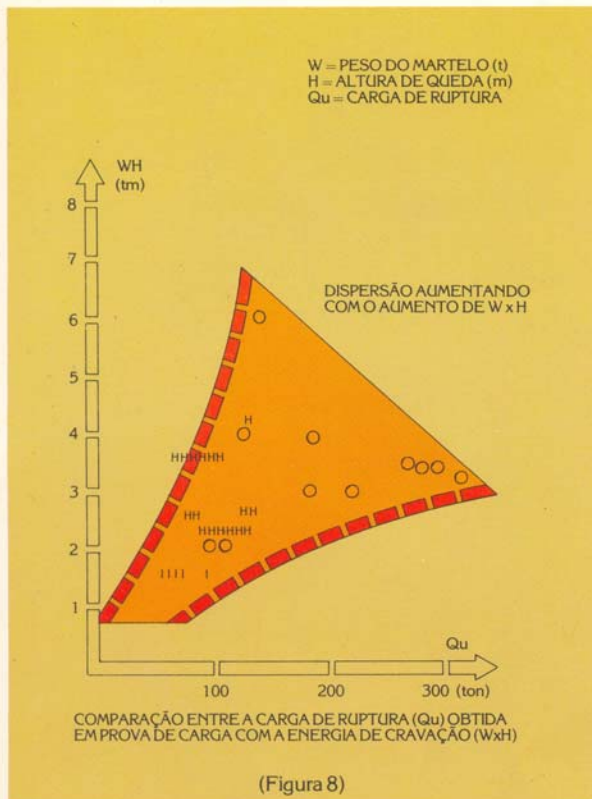
As estacas tubulares podem ter ponta aberta (open-end) ou fechada (solid point). As abertas apresentam maior área disponível para desenvolvimento do atrito lateral - as superfícies interna e externa. Têm maior área lateral do que as estacas H, com a mesma seção transversal, como indicado (Figura 5).



(Figura 5)

Portanto, para o mesmo comprimento cravado e para a mesma "nega", as estacas tubulares abertas podem suportar maior carga de trabalho que estacas I e H, como ilustrado na figura 6. As estacas de ponta fechada são usualmente recomendadas para os casos em que se deseja encher a estaca tubular com concreto, para atingir maior carga de trabalho, aproveitando a seção de concreto cintado e a do aço. As estacas tubulares de ponta aberta são de cravação mais rápida e expedita, requerendo cerca de 60% da energia necessária para cravar estaca de ponta fechada, do mesmo diâmetro. As estacas tubulares abertas permitem escavação interna, por lavagem ou outro processo, para verificação de prumo e de integridade da estaca, fatores muito importantes em obras especiais.



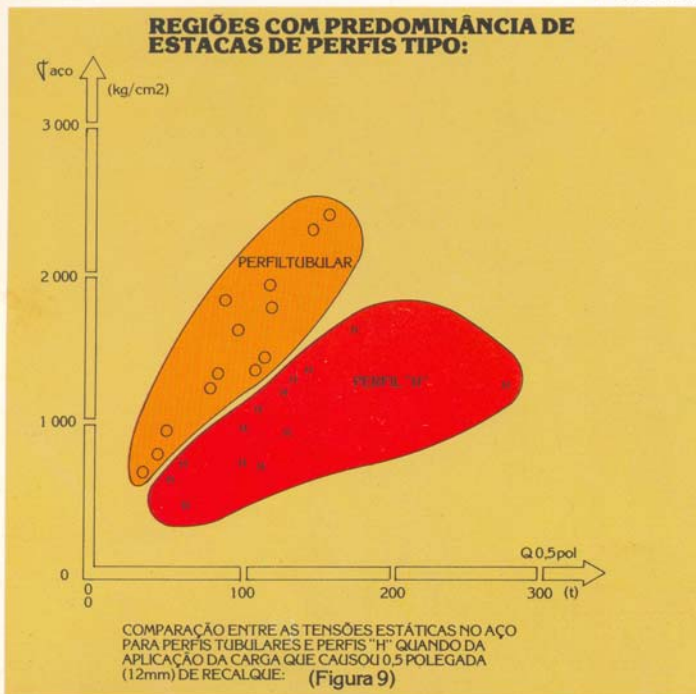


ENERGIA DE CRAVAÇÃO "NEGA"

Nas figuras 7 e 8 compilamos dados de provas de cargas com estacas tubulares e perfis I e H. A figura 7 evidencia que para a mesma energia de cravação por unidade de "nega", as estacas tubulares têm maior capacidade de carga que os perfis I e H. Para a mesma energia de cravação as estacas tubulares têm maior capacidade de carga, como ilustra a figura 8.

TENSÕES ESTÁTICAS

Os dados compilados na figura 9 demonstram que as seções metálicas das estacas tubulares podem ser melhor aproveitadas do que seções de perfis H e I. Para a mesma carga, que causou 1/2" de recalque, as seções metálicas de perfis tubulares apresentam tensões de trabalho mais elevadas.



CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS TUBULARES

Investigações de campo mostram que a capacidade de carga de estacas de **ponta aberta** é, em geral, superior ao que se poderia prever pelas contribuições individuais do atrito lateral e da base e, não raro, se compara com a capacidade de carga de estacas tubulares com ponta fechada. Durante a cravação, forma-se um "núcleo" de solo embuchado dentro do tubo, que, em condições específicas, fica compactado a tal grau, que confere à estaca comportamento análogo ao do tubo com ponta fechada. Inúmeros laboratórios já pesquisaram o assunto e para **solos arenosos** ($c' = 0$) modelos reduzidos foram ensaiados e quando comparados com estacas similares de ponta fechada, mostraram que, com comprimentos cravados maiores que $20 D$, a capacidade de carga das estacas abertas se torna essencialmente similar às de ponta fechada. Testes demonstram que a altura da coluna de terra dentro dos tubos não acompanha o nível externo do terreno, a partir de comprimentos de cravação (L) equivalentes a 5 vezes o diâmetro da estaca. A partir de comprimentos de cravação superiores a 8 diâmetros, nota-se pequeno aumento na altura da coluna interna, o que causa a compactação do núcleo embuchado. Verificou-se em laboratório que, para **areias puras**, quando a coluna interna atinge altura equivalente a 2 diâmetros, o núcleo embuchado já é muito compactado e que há significativa transferência de carga por atrito lateral interno da estaca para o solo. A coluna de solo acima de $2 D$, apesar de não ser particularmente compactada, em muito contribui para a capacidade de carga da estaca.

As estimativas de carga de trabalho para diversos diâmetros de tubos dependem obviamente do tipo de solo, porém, admitindo que a estaca possa ser cravada até um comprimento tal que desenvolva reação adequada de atrito e de ponta do solo (refletida na "nega"), podem ser fixados valores correspondentes ao emprego mais eficiente da estaca. Para "negas" correntes de aproximadamente 3 mm/golpe pode-se prever, como primeira idéia, as seguintes cargas:

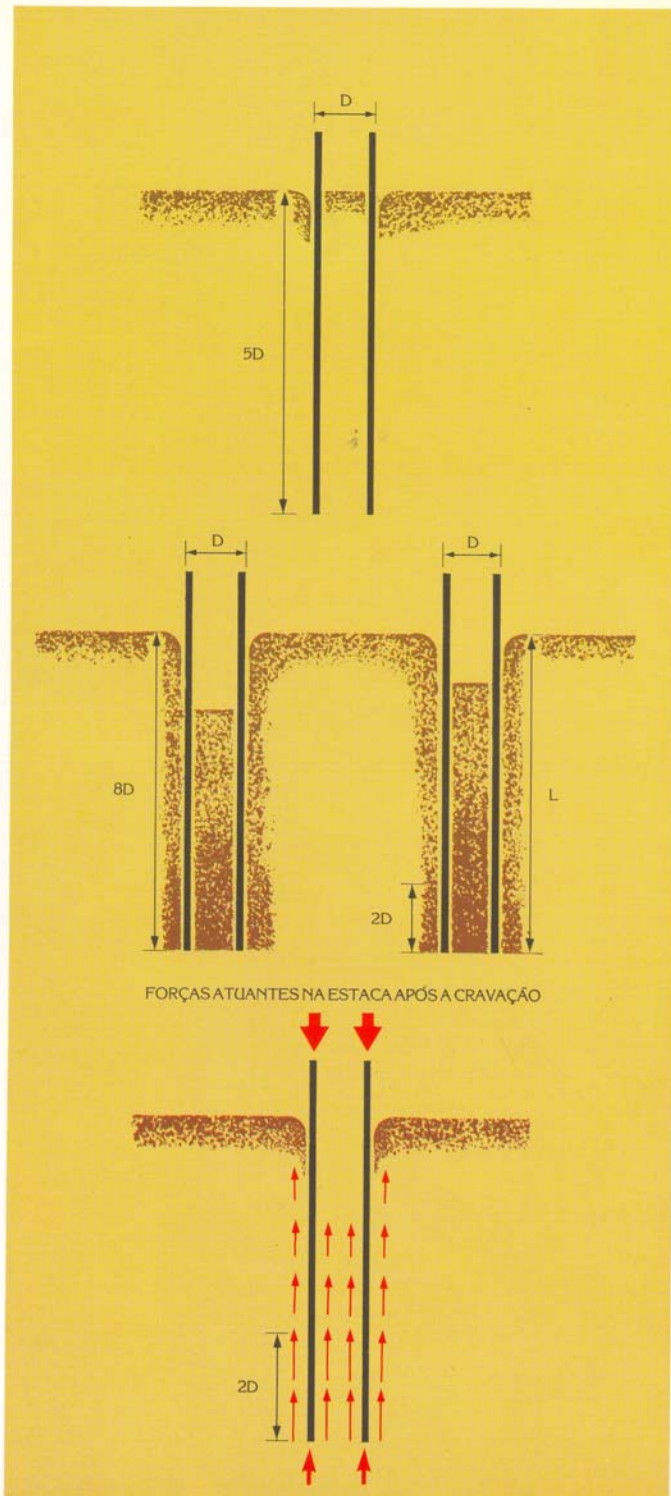


TABELA DE CAPACIDADES DE CARGA

O MÁXIMO PROVÁVEL A ADMITIR E COMPROVAR

DIÂMETRO POLEGADAS	CARGA MÁXIMA PROVÁVEL (TONELADAS) (a admitir e comprovar)	
	ESPESSURA MÍNIMA	ESPESSURA MÁXIMA
4 1/2	14	20
5 9/16	18	30
6 5/8	25	40
8 5/8	30	50
10 3/4	42	70
12 3/4	50	130
14	55	160
16	60	180
18	70	200
20	80	230
22	90	250
24	100	290
28	160	380
32	190	440
36	250	500
40	290	560
50	350	700
54	380	760
66	470	920
72	510	1000

Nota: Vide espessuras mínimas e máximas na Tabela de Propriedades da Seção

OBSERVAÇÕES

1. Tais estimativas são válidas como primeira indicação. Além do fato que o acúmulo de dados servirá para aperfeiçoar tal informação, a capacidade de carga e carga de trabalho de uma estaca é sempre variável de local para local, sendo influenciada, além da geologia, pelo nível d'água, pelo operador de cravação, equipamento de cravação, enfim inúmeros, fatores não quantificáveis. Em particular, o que muito influi na fixação apropriada da carga de trabalho é o recalque sob a carga em questão: as estimativas supra admitem um recalque da ordem de 10 mm sob a carga de trabalho.
2. Tais previsões de carga são estáticas e, portanto, considera-se que tensões dinâmicas de cravação não tenham acarretado danos ou problemas às estacas; também admite-se que a fundação não tenha que considerar carregamentos dinâmicos.

TABELA DE PROPRIEDADES DA SEÇÃO

DIÂMETRO NOMINAL	DIÂMETRO EXTERNO		ESPESSURA DA PAREDE		DIÂMETRO INTERNO	PESO POR METRO LINEAR	ÁREA DA SEÇÃO METÁLICA	ÁREA DA SEÇÃO NÃO METÁLICA	MOMENTO DE INÉRCIA	RAIO DE GRAÇÃO	MÓDULO DE RESISTÊNCIA	ÁREA DA SUPERFÍCIE EXTERNA	ÁREA DA SUPERFÍCIE INTERNA		
	Pol	mm	Pol	mm										Kg/ml	cm ²
4	4 1/2	114,3	0,188	4,8	104,7	12,9	16,4	86,0	247	3,9	43,2	0,36	0,33		
			0,219	5,5	103,3	14,9	19,0	83,8	281	3,9	49,3			0,32	
			0,237	6,0	102,3	16,1	20,5	82,2	301	3,8	52,7				
5	5 9/16	141,3	0,188	4,8	131,7	16,1	20,5	136,2	478	4,8	67,6	0,44	0,41		
			0,281	7,1	127,1	23,6	30,1	126,9	679	4,7	96,1			0,40	
			0,344	8,7	123,9	28,5	36,4	120,6	803	4,7	113,6				
6	6 3/8	168,3	0,280	7,1	154,1	28,3	36,0	186,4	117x10	5,7	139,3	0,53	0,48		
			0,312	7,9	152,5	31,3	39,9	182,5	129x10	5,7	152,9			0,48	
			0,375	9,5	149,3	37,3	47,5	174,9	150x10	5,6	178,2				
8	8 5/8	219,1	0,250	6,3	206,4	33,3	42,4	334,5	240x10	7,5	219,4	0,69	0,65		
			0,322	8,2	202,7	42,5	54,1	322,8	302x10	7,5	275,5			0,64	
			0,375	9,5	200,1	49,2	62,6	314,3	345x10	7,4	314,2				
10	10 3/4	273	0,250	6,3	260,3	41,8	53,2	532,4	473x10	9,4	346,5	0,86	0,82		
			0,344	8,7	255,5	56,9	72,5	513,0	634x10	9,4	464,4			0,80	
			0,365	9,3	254,5	60,3	76,8	508,8	669x10	9,3	489,8				
12	12 3/4	323,8	0,250	6,3	311,1	49,7	63,3	760,4	798x10	11,2	492,9	1,02	0,98		
			0,375	9,5	304,8	73,8	94,0	729,7	116x10 ²	11,1	717,80			0,96	
			0,500	12,7	298,4	97,4	124,1	699,6	150x10 ²	11,0	929,0				0,94
			0,625	15,9	292,0	120,6	153,8	669,7	182x10 ²	10,9	1127,2				
14	14	355,6	0,250	6,3	342,9	54,7	69,7	923,5	106x10 ²	12,3	597,7	1,18	1,08		
			0,375	9,5	336,6	81,3	103,6	889,6	155x10 ²	12,2	872,6			1,06	
			0,500	12,7	330,2	107,4	136,8	856,3	201x10 ²	12,1	1132,5				1,04
			0,750	19,0	317,5	158,1	201,4	791,7	286x10 ²	11,9	1609,0				
16	16	406,4	0,250	6,3	393,7	62,6	79,8	1217,4	160x10 ²	14,1	785,9	1,28	1,24		
			0,375	9,5	387,4	93,2	118,8	1178,4	234x10 ²	14,0	1191,4			1,22	
			0,500	12,7	381,0	123,3	157,1	1140,1	305x10 ²	13,9	1499,3				1,20
			0,750	19,0	368,3	181,9	231,8	1065,3	436x10 ²	13,7	2144,8				
18	18	457,2	0,250	6,3	444,5	70,6	89,9	1551,8	229x10 ²	15,9	999,9	1,44	1,39		
			0,375	9,5	438,2	105,1	134,0	1507,8	336x10 ²	15,8	1468,7			1,37	
			0,500	12,7	431,8	139,2	177,3	1464,4	438x10 ²	15,7	1917,6				1,36
			0,750	19,0	419,1	205,8	262,2	1379,5	630x10 ²	15,5	2757,8				
20	20	508	0,250	6,3	495,3	78,5	100,1	1926,8	315x10 ²	17,7	1239,6	1,60	1,56		
			0,375	9,5	489,0	117,1	149,2	1877,7	463x10 ²	17,6	1824,6			1,54	
			0,500	12,7	482,6	155,1	197,6	1829,2	606x10 ²	17,5	2387,4				1,52
			0,750	19,0	469,9	229,7	292,6	1734,2	876x10 ²	17,3	3448,0				
22	22	558,8	0,250	6,3	546,1	86,5	110,2	2342,2	420x10 ²	19,5	1505,0	1,75	1,72		
			0,375	9,5	539,8	129,0	164,4	2288,1	620x10 ²	19,4	2219,2			1,70	
			0,500	12,7	533,4	171,0	217,9	2234,6	813x10 ²	19,3	2908,6				1,68
			0,750	19,0	520,7	253,5	323,0	2129,4	1178x10 ²	19,1	4215,5				
24	24	609,6	0,250	6,3	596,9	94,4	120,3	2332,1	547x10 ²	21,3	1796,2	1,91	1,87		
			0,375	9,5	590,6	140,9	179,6	2272,9	808x10 ²	21,2	2652,4			1,85	
			0,500	12,7	584,2	186,9	238,1	2214,3	1061x10 ²	21,1	3481,4				1,83
			0,750	19,0	571,5	277,4	353,4	2099,0	1542x10 ²	20,9	5060,1				
28	28	711,2	0,375	9,5	692,2	164,8	209,4	3763,2	1289x10 ²	24,8	3634,5	2,23	2,17		
			0,500	12,7	685,8	218,7	278,7	3693,9	1700x10 ²	24,7	4781,3			2,15	
			0,750	19,0	673,1	325,1	414,2	3558,3	2482x10 ²	24,5	6981,1				2,11
			0,875	22,2	666,8	377,5	480,5	3492,0	2854x10 ²	24,4	8027,1				
32	32	812,8	0,375	9,5	793,8	188,7	239,7	4948,9	1934x10 ²	28,4	4771,2	2,55	2,49		
			0,500	12,7	787,4	250,5	319,2	4869,5	2555x10 ²	28,3	6287,1			2,47	
			0,750	19,0	774,7	372,8	475,0	4713,6	3743x10 ²	28,1	9210,9				2,43
			0,875	22,2	768,4	433,2	551,4	4637,3	4311x10 ²	28,0	10619,9				
36	36	914,4	0,438	11,1	892,1	247,8	316,4	6250,5	3227x10 ²	31,9	7043,5	2,87	2,80		
			0,500	12,7	889,0	282,4	359,8	6207,2	3657x10 ²	31,9	7998,9			2,79	
			0,750	19,0	876,3	420,6	535,8	6031,1	5372x10 ²	31,7	11749,6				2,75
			0,875	22,2	870,0	488,9	622,2	5944,7	6195x10 ²	31,5	13564,8				
40	40	1016,0	0,438	11,1	993,7	275,6	352,0	7755,3	4443x10 ²	35,5	8727,6	3,19	3,12		
			0,500	12,7	990,6	314,2	400,3	7707,0	5038x10 ²	35,5	9916,6			3,11	
			0,750	19,0	977,9	468,3	596,6	7510,7	7415x10 ²	35,2	14597,2				3,07
			0,875	22,2	971,6	544,6	693,1	7414,2	8561x10 ²	35,1	16870,2				
50	50	1270,0	0,438	11,1	1247,7	345,2	441,0	12226,7	8735x10 ²	44,5	13756,7	3,99	3,92		
			0,500	12,7	1244,6	393,8	501,6	12166,0	9913x10 ²	44,4	15611,6			3,91	
			0,750	19,0	1231,9	587,7	748,9	11919,0	1465x10 ³	44,2	23067,5				3,87
			0,875	22,2	1225,6	687,3	870,3	11797,4	1694x10 ³	44,1	26681,6				
54	54	1371,6	0,438	11,1	1349,3	373,1	476,5	14299,0	1103x10 ³	48,1	16077,3	4,31	4,24		
			0,500	12,7	1346,2	425,6	542,2	14233,4	1252x10 ³	48,0	18250,1			4,23	
			0,750	19,0	1333,5	635,4	809,5	13966,1	1851x10 ³	47,8	26996,2				4,19
			0,875	22,2	1327,1	739,4	943,2	13832,4	2147x10 ³	47,7	31310,0				
66	66	1676,4	0,438	11,1	1654,1	456,6	583,3	21488,9	2022x10 ³	58,9	24123,6	5,27	5,20		
			0,500	12,7	1651,0	521,0	663,8	21408,4	2297x10 ³	58,8	27400,8			5,19	
			0,750	19,0	1638,3	778,6	991,9	21080,3	3406x10 ³	58,6	40635,6				5,15
			0,875	22,2	1632,0	906,4	1153,7	20918,5	3947x10 ³	58,5	47087,6				
72	72	1828,8	0,438	11,1	1806,5	498,4	636,7	25631,0	2629x10 ³	64,2	28757,1	5,74	5,67		
			0,500	12,7	1803,4	568,8	724,6	25543,1	2987x10 ³	64,2	32671,4			5,66	
			0,750	19,0	1790,7	850,2	1083,1	25184,6	4435x10 ³	64,0	48497,8				5,63
			0,875	22,2	1784,4	989,9	1260,0	25007,7	5141x10 ³	63,9	56224,8				

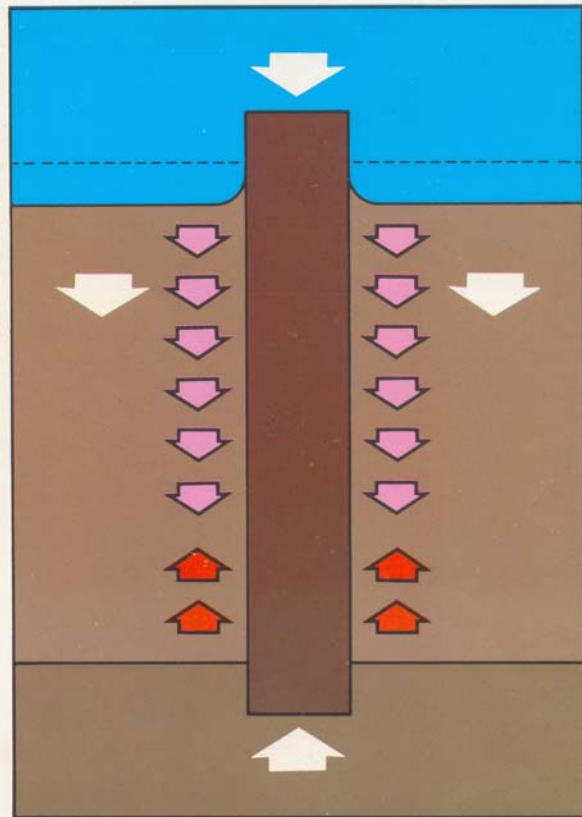
OBS.: Outros diâmetros e espessuras intermediárias também são de nossa linha normal de fabricação. Consulte-nos.

ATRITO NEGATIVO

O problema de carregamento indireto da estaca, através de atrito negativo, pode ser resolvido para as estacas metálicas pelos mesmos expedientes utilizados nas estacas prêmoldadas, e até com maior facilidade.

Assim, pode-se:

- aumentar a seção do perfil para levar em consideração este acréscimo de carga, ou ter em conta o atrito negativo como fator que provocará assentamento adicional, ainda sem levar as estacas à condição de rutura.
- através de pinturas redutoras de aderência (ex. betuminosas especiais) impedir que grande parte deste carregamento se transmita à estaca.



ASTM-A-252 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

FINALIDADE

Esta especificação se aplica a estacas tubulares metálicas nas quais a seção metálica atua como elemento portante para cargas permanentes, ou como forma metálica para estacas de concreto moldadas "in loco".

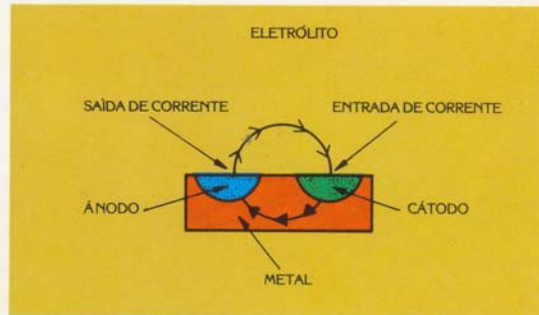
PROPRIEDADES MECÂNICAS	GRAU 1	GRAU 2	GRAU 3
· Tensão de ruptura (mínima) (psi) (kg/mm ²)	50.000 35,1	60.000 42,2	66.000 46,4
· Tensão de escoamento (mínima) (psi) (kg/mm ²)	30.000 21,1	35.000 24,6	45.000 31,6
· Percentagens básicas mínimas de alongamento para espessuras de parede maiores ou iguais a 5/16":			
· alongamento em 8" (203 mm)	18	14	—
· alongamento em 2" (50,8 mm)	30	25	20
· Para espessuras de parede inferiores a 5/16", deduzir as percentagens indicadas das percentagens acima para alongamentos em 2" (50,8mm) em cada 1/32" de redução na espessura:	1,5	1,25	1,0
· Assim, para espessura de parede de 0,281", que corresponde à redução de uma vez 1/32", tem-se:	28,5	23,75	19,0

CORROSÃO

As composições físicas e químicas de um solo, seu pH, temperatura, aeração e a variação de sua resistividade contribuem para a agressividade deste solo. A resistividade é o índice universalmente aceito como indicador do potencial de corrosão de certo solo. Em certos casos, há que distinguir entre a agressividade do solo e a da água intersticial (água do subsolo).

- Em condições estáticas do lençol freático não existe remoção dos ions oriundos da corrosão das faces atacadas de um perfil metálico e portanto o fenômeno é de pequena consequência, desacelerando rapidamente com o tempo após a criação de uma película corroida inicial.
- Em condições de oscilação ou variação do lençol freático existe carreamento dos ions e portanto renovada capacidade de ataque químico da água circulante.
- Além disto, pode ocorrer a constante exposição de nova face do metal ao elemento corrosivo, se for também removida da face metálica a película corroida.
- No caso de tal variação se dar em lâmina d'água (plataformas oceânicas) os métodos de proteção com eficiente película protetora evitam quase que totalmente o problema.
- No caso da variação se dar dentro do perfil de subsolo ou no caso de fundação sujeita a percolação d'água com velocidades significativas, a corrosão assumirá proporções que exigem consideração e cuidados especiais.

Qualquer que seja a causa e a velocidade, quando o fenômeno de corrosão ataca um perfil metálico, ele causa um decréscimo de área transversal do elemento. Representa, portanto, um aumento de tensão transmitida e será, para a fundação em questão, um fator causador de incremento de recalques elásticos e como tal podem ser equacionados e resolvidos pelos engenheiros. Comparando-se perfis H com perfis tubulares da mesma seção de aço, o perfil tubular apresenta uma menor superfície exposta, sujeita à corrosão, que o perfil H.



CONTROLE DE CORROSÃO PRINCIPAIS MÉTODOS DE CONTROLE

Método	Situação	Obras Terrestres	OBRAS MARÍTIMAS (OFFSHORE)				
			Zona exposta à atmosfera	Zona de respingos	Zona de variação de maré	Zona Submersa	Zona Enterrada
Pintura		●	●	●	●		
Revestimento				●	●		
Margem de corrosão (Sobresspessura)		●		●	●	●	●
Proteção catódica					●	●	●

Dentre os principais métodos acima, os de sobresspessura e proteção catódica são os mais usados, tanto em se tratando de obras terrestres sujeitas a um meio agressivo, como em obras marítimas.