



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS
E ENGENHARIA GEOTÉCNICA
NÚCLEO REGIONAL DE SÃO PAULO

ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA PROJETO, EXECUÇÃO E CONTROLE

ARMANDO N. CAPUTO
HÉLVIO TAROZZO
URBANO R. ALONSO
WILLIAN R. ANTUNES

Patrocínio Esteio
Brasfond
Fundesp
Geofix

São Paulo, 6 de maio de 1997

As opiniões externadas em cada capítulo são de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo necessariamente a posição do NRSP / ABMS

1.1. HISTÓRICO

A estaca hélice contínua (continuous flight auger), é uma estaca de concreto moldada "in loco", caracterizada pela perfuração do solo através de uma haste de perfuração constituída de uma hélice espiral desenvolvida em torno de um tubo central. Introduzida no solo até a cota de projeto, somente então passa a ser extraída enquanto se injeta concreto através de seu tubo central.

O uso de estacas hélice contínua teve um grande crescimento na década de 80. Originalmente com equipamentos adaptados para este fim, e posteriormente sendo construídos especificamente com o objetivo da execução das EHC, seu uso se espalhou por toda a Europa, EUA e Japão.

No final da década de 80, p.e., era estimado que o método contribuía por aproximadamente metade das estacas de pequeno diâmetro (até 600 mm) executadas na Grã-Bretanha, enquanto o número de equipamentos disponíveis atingia 60, a maior parte dos quais não mais guindastes de esteira adaptados, mas equipamentos construídos especificamente para execução de EHC.

Este crescimento foi acompanhado de mudanças no método executivo :

- o uso de argamassa foi substituído pelo concreto.
- o desenvolvimento de instrumentação sofisticado para automaticamente monitorar a execução.
- o torque disponível tem crescido, proporcionando a execução de estacas de maior diâmetro e maior profundidade.
- os tipos de solo que podem ser atravessados tem aumentado pela mesma razão.

Por fim o uso de EHC tem se estendido além de simples estacas de carga.

A execução de paredes de estacas escavadas, contíguas ou secantes tem sido introduzida.

A pré escavação para introdução de perfis metálicos, onde o desvio da vertical não é admitido, ou as vibrações de cravação através de BE convencional também não o são.

Introduzida no Brasil em 1987, utilizando-se de equipamentos aqui fabricados, a partir de modelos utilizados no exterior, com torques disponíveis de 35 kNm, dispunha de diâmetros de hélice de 275, 350 e 425 mm e comprimentos de até 15 metros com apenas dois equipamentos disponíveis até o ano de 1993, foram executadas cerca de 5.500 estacas, acompanhadas da execução de 10 provas de carga.

A partir desta data, com a chegada ao mercado de equipamentos importados, com torques na faixa de 85 kNm passou-se a contar com diâmetros de até 800 mm e profundidades de até 24 metros. Estes equipamentos passam a contar com instrumental de monitoração eletrônica.

Assiste-se recentemente a chegada de novos equipamentos com torque de até 200 kNm, com capacidade de perfuração de até 1000mm. Estão disponíveis neste momento 14 equipamentos no mercado brasileiro.

Tem sido produzido de 15 a 25 estacas por equipamento dia. A produção é inversamente proporcional ao diâmetro das estacas, mas depende principalmente da continuidade do fornecimento do concreto.

Esta tem sido a evolução da produção da EHC no Brasil:

ANO	# DE ESTACAS
até 1993	5500
1994	2000
1995	4000
1996	11500

Até a presente data têm-se notícia da execução das provas de carga:

PROVAS DE CARGA EM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

DATA	LOCAL	DADOS DA ESTACA		CARGA (kN) e RECALQUES (mm)			
		D (cm)	l (m)	P trabalho	Γ trabalho	P máx	Γ máx
nov. 89	Av. Santa Mônica - Pirituba	27,5	7,00	300	5,13	450	16,58
nov. 89	Campus USP	27,5	7,50	300	9,00	660	14,12
nov. 89	Campus USP	35,0	7,50	400	8,50	480	15,49
nov. 89	Campus USP	42,5	7,50	450	3,00	720	26,76
dez.90	Rua Baltazar Borges - SBC	27,5	7,00			287	32,56
dez.90	Rua Baltazar Borges - SBC	27,5	11,00	300	2,83	450	18,84
dez.90	Rua Baltazar Borges - SBC	27,5	15,00	300	2,10	450	5,84
dez.90	Hospital da Carapicuíba - SP	42,5	9,00	550	5,10	825	14,64
dez.90	Hospital da Carapicuíba - SP	42,5	8,50	550	1,30	825	4,36
dez.90	Hospital da Carapicuíba - SP	27,5	7,00	300	1,35	450	2,87
jul.96	Av. Guinle - Guarulhos	60,0	11,46	1000	2,93	2040	24,00
1996	Rua Rangel Pestana - Mogi das Cruzes	60,0				2040	5,94
1996	Rua José Figueiredo Seixas - SP	70,0	19,50	2000	2,67	4000	9,46
1996	Rua José Figueiredo Seixas - SP	70,0	19,00	2000	2,46	4000	16,50
1996	Rua José Figueiredo Seixas - SP	70,0	16,00	2000	14,01	2400	
1996	Rua José Figueiredo Seixas - SP	70,0	24,00	2000	2,34	4800	23,53
1996	VCP - Fábrica de Jacarei	50,0	9,30	750	1,55	1500	6,39
1996	VCP - Fábrica de Jacarei	50,0	13,00	751	1,20	1500	3,44
abr.96	Rua Barão do Triunfo,277 - SP	35,0	11,55	600	1,26	1320	4,93
1996	Rua Barão do Triunfo,277 - SP	35,0	08,59			940	17,76
set.96	Rua Aguapeí,300 - SP	60,0	16,04	1300	2,80	2600	14,20
out.96	Rua Conceição de M.Alegre, SP	70,0	19,50	2000	2,67	4000	9,46
jan.97	Rua Conego Antonio Lessa, SP	60,0	16,10	1500	3,40	3630	20,70
abr.97	Fábrica da Renault, PR	35,0	19,00	600	1,84	1200	5,80
abr.97	Fábrica da Renault, PR	40,0	14,00	800	2,54	1600	7,36

1.2. METODOLOGIA EXECUTIVA

As fases de execução da estaca hélice contínua são :

Perfuração, concretagem simultânea à extração da hélice e colocação da armação.

1.2.1. PERFURAÇÃO

A hélice propriamente dita é composta de chapas em espiral que se desenvolvem, como uma hélice, em torno de um tubo central. Sua extremidade inferior é composta de garras que permitem cortar o terreno, e de uma tampa destinada a impedir a entrada de solo no tubo central durante a escavação, e permitir a saída de concreto durante a concretagem.

A perfuração consiste na introdução da hélice no terreno, por meio de movimento rotacional proveniente de motores hidráulicos acoplados na extremidade superior da hélice, até a cota de projeto, sem que em nenhum momento, a hélice seja retirada da perfuração.

Devido a esta principal característica das estacas hélice contínua, a de não permitir alívio do solo durante as etapas de escavação e concretagem, torna-se possível a sua execução tanto em solos coesivos como arenosos, na presença ou não de lençol freático.

1.2.2. CONCRETAGEM

Alcançada a profundidade desejada, o concreto é bombeado através do tubo central; neste momento a hélice passa a ser extraída do terreno através do equipamento, sem girar, ou girando lentamente no sentido da perfuração. A pressão do concreto (obrigatoriamente positiva) é controlada de forma que este preencha os vazios causados pela extração da hélice, até a superfície do terreno, ou atinja a cota de topo da estaca, se esta for inferior a da superfície.

O concreto normalmente utilizado apresenta resistência característica FCK de 20 MPA, é bombeável e composto de areia, pedrisco ou brita um. O consumo de cimento de 350 à 450 quilos por metro cúbico, sendo facultativa a utilização de aditivos. O abatimento ou "slump" é mantido entre 200 e 240 mm.

Normalmente é utilizada bomba de concreto acoplada ao equipamento de perfuração através de mangueira flexível de 100 mm de diâmetro interno.

A velocidade de extração da hélice do terreno deve ser tal que mantenha a pressão de injeção do concreto positiva. O preenchimento da estaca com concreto é normalmente executado até a superfície de trabalho, sendo possível o seu arrasamento abaixo da superfície do terreno, guardadas as precauções quanto a estabilidade do furo no trecho não concretado e a colocação da armação. A limpeza da hélice pode ser feita manualmente ou por limpador de acionamento hidráulico ou mecânico acoplado ao equipamento.

1.2.3. COLOCAÇÃO DA ARMAÇÃO

O método de execução da estaca hélice contínua exige a colocação da armação após a sua concretagem.

A armação, em forma de gaiola, é introduzida na estaca por gravidade ou com auxílio de um pilão de pequena carga, ou de um vibrador.

As estacas submetidas a esforços de compressão levam uma armação no topo, em geral de 2 metros de comprimento. No caso de estacas submetidas a esforços transversais ou de tração será possível a introdução de armação de maior comprimento já tendo se conseguido a introdução de 17 metros de armação. No caso de armações longas, as gaiolas devem ser constituídas de barras grossas e estribo espiral soldado na armação longitudinal para evitar a sua deformação durante a introdução no fuste da estaca.

1.3. EQUIPAMENTOS

O equipamento normalmente empregado para executar a estaca hélice contínua tem uma torre vertical, de altura apropriada a profundidade da estaca a ser executada. Na torre encontra-se a mesa rotatória, deslocando-se ao longo dela. Acoplada à mesa se encontra a hélice. Assim, movimentos de subida da hélice são proporcionados pelo equipamento, e movimentos de rotação pela mesa rotatória. A mesa rotatória recebe a mangueira de concreto proveniente da bomba.

São disponíveis em nosso mercado :

Diâmetro da hélice (mm)	Comprimentos (metros)	Torque (kNm)
275	15 / 19	35
300	15 / 24	35 / 200
350	15 / 24	35 / 200
400	15 / 24	35 / 200
425	15 / 19	35
500	24	85 / 200
600	24	85 / 200
700	24	85 / 200
800	24	160 / 200
900	24	160 / 200
1000	24	160 / 200

2 - CONTROLE DO PROCESSO

A execução da Estaca Hélice Contínua, tem tido um desenvolvimento significativo em nosso país e sem dúvida, atenção especial deve ser dada a qualidade da estaca.

A monitoração eletrônica da execução das estacas, pode ser uma ferramenta, se bem usada e interpretada, capaz de trazer confiabilidade à qualidade da estaca.

Em função dessas premissas e visando esclarecer ao meio técnico dos recursos dessa instrumentação é que optamos por mostrar como funciona o controle durante a execução, enfatizando suas vantagens e alertando para suas eventuais deficiências.

2.1 - DESCRIÇÃO DO TARACORD

O equipamento mais usado em todo o mundo para esta monitoração é um aparelho de origem francesa, fabricado pela empresa Jean Lutz S/A; denominado **TARACORD CE**.

O **TARACORD** é um “instrumento de medida” constituído de um “computador” e sensores instalados na máquina.

O computador é uma “caixa”, à vista do operador da perfuratriz, (Foto 2.1) com três monitores (telas) e um teclado (Foto 2.2).



Foto 2.1

Este computador é alimentado eletricamente pela bateria do equipamento (perfuratriz) e interligado a todos os seus sensores através de fios (Foto 2.3 e Figura 2.1).



Foto 2.2

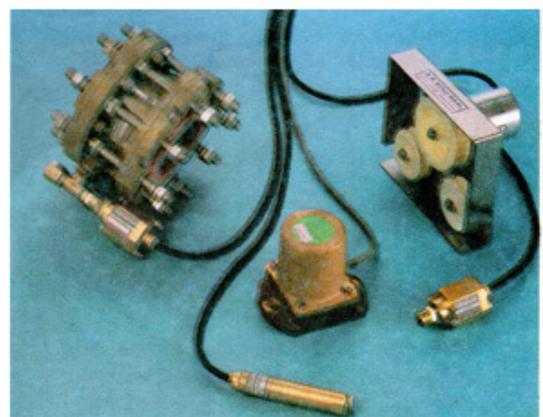


Foto - 2.3

Os sensores são:

- ① **Profundidade**, instalado na cabeça de perfuração, constituído de um sensor de rotação e um conjunto de roldanas que, giram em contato com um cabo de aço instalado ao longo da torre. Ao girar sobre o cabo informam o deslocamento da cabeça e conseqüentemente do trado. A informação deste sensor possibilita conhecer a posição da ponta do trado em relação ao nível do terreno, no tempo.

Desta forma, é determinado automaticamente pelo Taracord as velocidades de avanço, de subida e evidentemente o comprimento da estaca.

- ② **Velocidade de rotação**, este sensor é instalado também na cabeça de perfuração, trata-se de um sensor de proximidade, que conta o numero de vezes que passam por ele pinos colocados em um anel que gira solidário ao trado. Informado ao Taracord quantos pinos existem em cada volta obtemos a medida da velocidade de rotação.
- ③ **Torque**, este sensor é um transdutor de pressão colocado diretamente na linha de óleo hidráulico do motor que faz girar a cabeça de rotação. O fabricante da perfuratriz deve fornecer a correlação da pressão hidráulica e o torque efetivo. Se esta relação for linear o próprio Taracord fará a transformação (ex. bar em kgm) caso contrário, será necessário consultar um gráfico.
- ④ **Inclinação da torre**, este sensor é colocado diretamente na torre da máquina, fornecendo a inclinação em relação a vertical dos dois eixos, "X" (direita e esquerda) e "Y" (Frente e atrás).
- ⑤ **Pressão de concreto**, este é sem dúvida o mais importante sensor para todo o processo. Esta inserido na linha de bombeamento do concreto, próximo ao topo (figura 3). Trata-se de um transdutor de pressão que mede a pressão do concreto de forma indireta, pois um tubo de borracha que é comprimido pelo concreto e que por sua vez comprime um liquido (água ou óleo). A pressão deste liquido é medida pelo transdutor. Com este sensor temos a medida da pressão e do volume de concreto injetado. O volume é obtido em função do número de picos de pressão e das características da bomba de concreto, como veremos adiante.

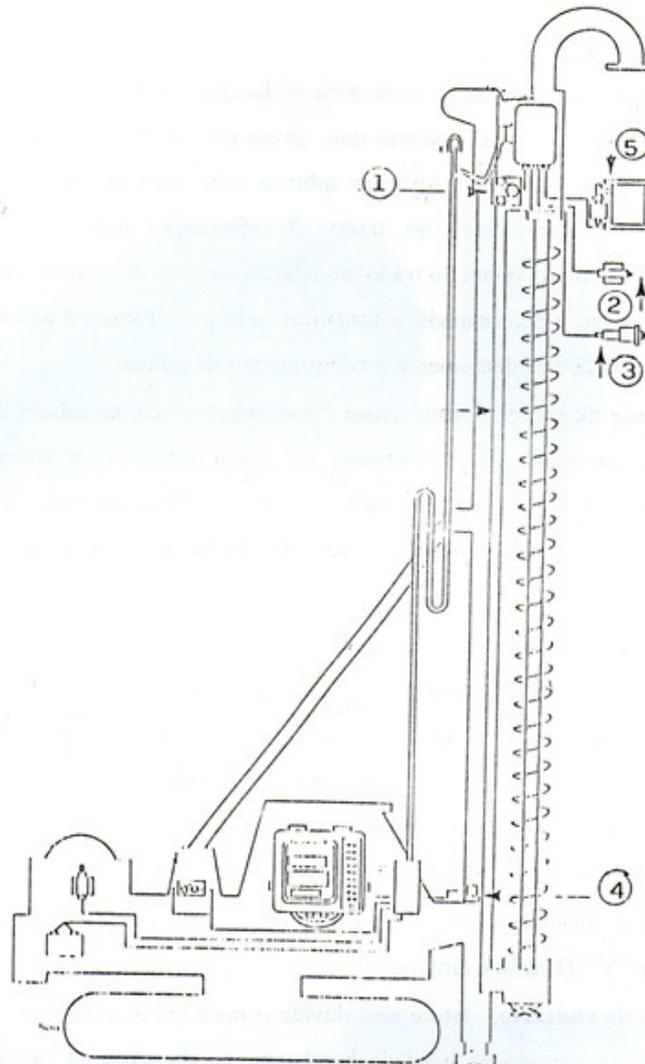


Figura 2.1

O computador do Taracord ,compõe-se de tres telas (Foto. 2.2), que quando do registro da execução mostram o seguinte:

- 1ª tela :** -Prof.- A profundidade em metros com uma precisão de 1 cm
- V.A.- A velocidade de descida ou de subida expressas em m/h.
- V.R.- A velocidade de rotação do trado em rpm
- Torsão- A pressão em bares que esta sendo aplicada ao motor da rotação ou o torque em kgm , se programado.

- 2ª tela:

- Débito- A vazão de concreto em m^3/h .
- Volume- O volume de concreto , acumulado desde o início da concretagem da estaca em m^3 .
- Press.- Pressão de concreto durante a concretagem
- X e Y - Inclinação do torre nos dois eixos com precisão de $0,1^\circ$

- 3ª tela :

- CP - sobre ou sub consumação verificada nos últimos 50 cm concretados.
- CT - sobre ou sub consumação verificada em toda a concretagem até o momento.
- - % < o > + % - Representação gráfica da sobre ou sub consumação dos últimos centímetros concretados. Cada barra vertical corresponde a 2% em volume de sub consumação se a esquerda ou sobre consumação se à direita.

Esses dados além de mostrados nas telas, como acima descrito, também são arquivados no "Memobloc" (elemento de memória, foto 2.4) que através de um drive especial (MEMOLEC) transfere-os para um Computador "PC". A Jean Lutz desenvolveu um SoftWare que permite observar na tela do monitor do PC ou imprimir gráficos (fig. 2.2) referentes a cada estaca.



Foto 2.4

		TARACORD /TCT 7.19	
		Estacas de Trado continuo	
Contrato n° :		Data : 24/04/97	Estaca n° P399
Obra :			Diaméto estaca: 0.35 m
Princ. Perfu.: 16h26			Comprimento : 10.35 m
Betonagem : 16h33			Inclinação X:Y : 0.3:-0.1
Fim estaca : 16h36			Volume betão : 1.09 m ³
			Sobreconsumação: 10 %

1/100

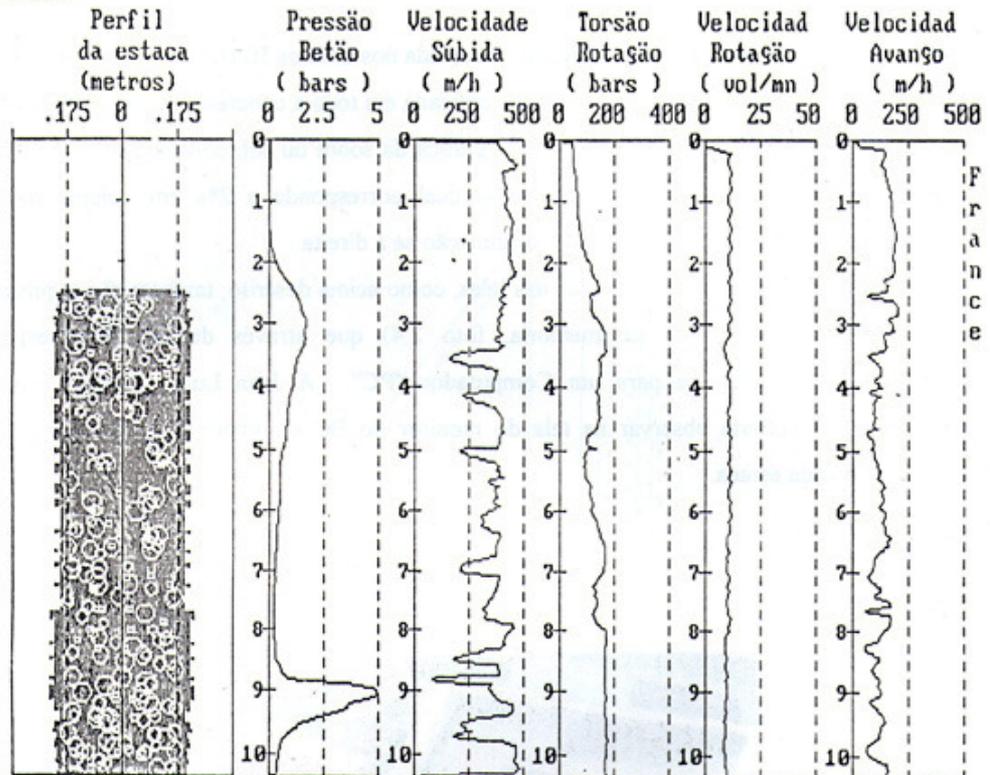


Figura 2.2

Os dados são:

Contrato nº - Informado pelo Operador ao Taracord

Obra - Idem

Estaca nº - Idem

Diâmetro da estaca (cm) - Idem

Comprimento (m)- obtido do sensor de profundidade no início e fim da estaca.

Inclinação (°) obtido do sensor de inclinação.

Volume de concreto (m³) - Obtido do sensor de pressão acumulando a quantidade total de concreto da estaca.

Sobre consumo - (%), entre o volume de concreto consumido na estaca e volume teórico calculado com base no diâmetro informado.

Data

Principio da Perfuração - O operador indica o início da perfuração

Concretagem - O operador indica início da concretagem

Fim da estaca - O operador indica o fim da estaca

Nestes gráficos além de todos os dados já mencionados, pode ser observado o **Perfil da Estaca (TEÓRICO)**

2.2 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE CONTROLE.

No item anterior fizemos um relato do mais conhecido aparelho de monitoração para hélice continua que é utilizado pela totalidade das empresas que executam este tipo de estaca , com monitoração, no Brasil.

Como qualquer estaca moldada “ in loco ” a questão que se coloca, durante a execução, é a garantia da continuidade do fuste e de seu diâmetro. Assim a principal função da monitoração é fornecer elementos que darão esta garantia.

Analisaremos então cada medida obtida através do Taracord e sua importância para a garantia da qualidade da estaca, no tocante a execução.

Para facilitar esta análise , achamos interessante dividir os dados fornecidos pelo Taracord em dados essenciais e dados auxiliares, na monitoração.

2.2.1- DADOS ESSENCIAIS:

2.2.1.1 - Profundidade

A profundidade medida pelo Taracord com uma sensibilidade de 1 cm é suficiente para o processo, pois a literatura disponível aceita uma exatidão de até 5 cm. A

medida da profundidade começa a ser registrada toda vez que informamos ao computador o início da estaca, o que só deve ser feito após apoiar-se a ponta do trado na superfície do terreno.

2.2.1.2) Volume do concreto lançado

São dois os processos conhecidos para a medição do volume do concreto; o medidor de fluxo e o contador de picos de pressão.

- a) **O medidor de fluxo** é um aparelho bastante sofisticado, amplamente utilizado na indústria do petróleo, química e etc. Na indústria da construção (fundações), temos um ambiente dos mais hostis, além do concreto, com sua alta abrasividade, requerer um instrumento de medição não invasivo (isto é um instrumento que não necessite contato com o material que flui). Estes medidores baseiam-se em técnicas de eletromagnetismo. Nas aplicações tradicionais destes aparelhos os fluidos são bombeados de forma constante e por longo tempo. Na nossa aplicação, o fluido (concreto) é bombeado com constantes acelerações e desacelerações (a bomba de concreto é do tipo alternativo) e o período a ser medido é sempre curto, alguns minutos. Assim pelo exposto este tipo de medidor não é o mais indicado, a sua precisão quando em nossa aplicação deixa de existir e sua sofisticação leva a um grande índice de paralisação por quebra ou defeito.
- b) **O contador de picos de pressão**, usado pelo Taracord, é um aparelho mais rudimentar que o anterior, mas devido a sua robustez, quando bem ajustado nos fornece dados tão ou mais precisos e confiáveis que o medidor de fluxo. Este aparelho conta os picos de pressão provenientes do início de ciclo de bombeamento de cada pistão da bomba de concreto. As bombas de concreto são providas de dois cilindros hidráulicos mecanicamente ligados a cilindros que bombeiam o concreto (Fig. 2.3). O trabalho é sempre alternativo, ou seja quando um vai outro vem. Neste processo diversos picos de pressão são observados a cada golpe da bomba. O Taracord, utilizando "filtros", lê somente o maior pico de pressão garantindo uma única contagem para cada ciclo. Uma vez contados o número de ciclos e sabendo e informando ao computador o volume bombeado a cada ciclo, teremos as vazões e os volumes medidos. Cada modelo de bomba tem um volume de cilindro próprio bem como uma perda ou eficiência de bombeamento próprias. Assim para termos uma medida de volume

correta deveremos aferir o volume efetivamente bombeado com o medido pelo Taracord, toda vez que uma nova bomba é utilizada pois bombas mais velhas ou

mal cuidadas têm menor eficiência. **A correta informação ao Taracord do volume bombeado, por ciclo, precisa ser aferida e corrigida a cada nova bomba utilizada.** Da correta medida de volume depende as indicações de sub ou sobre consumação. Estas indicações complementadas pelas as indicações de pressão são fundamentais na monitoração da estaca, embora, como veremos a seguir, nem sempre a medida da pressão é condicionante e, nestes casos, obviamente a medida do volume torna-se a fundamental.

A importância da correta medida de volume durante a concretagem, é evidente, pois uma sobre consumação ao longo de todo o fuste, nos garante a integridade do mesmo. O Taracord nos mostra o valor da sobre consumação a cada 50 cm.

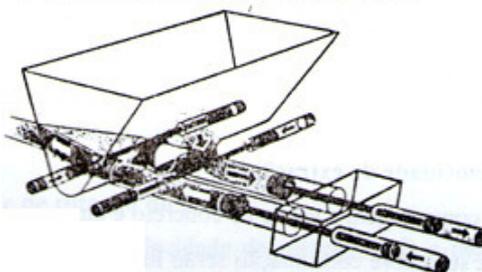


Figura 2.3

2.2.1.3 - Pressão de concreto

A pressão de concreto, durante a concretagem, deve ser “sempre” positiva. Esta afirmação, sem dúvida, é correta, se a pressão fosse medida na saída da hélice. Atualmente, pelo que sabemos, não existem instrumentos, técnica e economicamente viáveis para isto. O Taracord, como já foi dito mede a pressão pouco acima do fim do mangote que conduz o concreto, o que equivale a dizer logo abaixo do início da curva que conduz para a hélice.

Temos que analisar duas situações extremas na medida da pressão; uma quando trabalhamos em solos resistentes e outra em solos muito moles.

No primeiro caso, mais comum, o trado estará sempre cheio de concreto e é possível afirmar que a pressão na ponta do trado é maior que o valor registrado pelo sensor do Taracord.

No segundo caso, que ocorrerá ao longo do fuste, nos trechos de solos moles; a velocidade do concreto no mangote é menor que a velocidade de saída, função da falta de suporte lateral do terreno. Desta forma uma pressão muito próximo de zero ou menor do que zero (negativa) é possível sem que isto signifique um dano a integridade da estaca.

Concluimos portanto que em solos resistentes a pressão deve ser sempre positiva, porém, em terrenos muito moles esta pressão pode ser zero ou até negativa. O controle da execução de estacas em solos moles deverá ser muito mais cuidadoso, pois praticamente só contamos com o volume de concreto injetado para a garantia da continuidade do fuste, nos demais terrenos o conjunto da informação pressão e sobre consumação nos dá maior confiabilidade ao controle.

2.2.1.4 - Tempo

Taracord possui “relógio” próprio, desta maneira só precisamos informar as situações de início de perfuração, início de concretagem, término da concretagem e o término da execução da estaca. Obviamente as velocidades, que são automaticamente calculadas pelo Taracord, utilizam os tempo assim medidos.

2.2.1.5 - Velocidade de extração

Quando da concretagem a vazão de concreto é uma constante da bomba entretanto a pressão e sub/sobre consumação serão função da velocidade com que extraímos o trado.

Durante a concretagem a ação do operador da perfuratriz é exclusivamente no comando da extração do trado. Da correta observação dos dados fornecidos pelo TARACORD, pressão positiva e sobre consumação, dependerá a qualidade de execução da estaca.

2.2.2) DADOS AUXILIARES.

Os dados importantes mas não essenciais referem-se somente a fase de perfuração.

2.2.2.1 - Inclinação da torre

O Taracord nos mostra a cada instante a inclinação da torre nos dois eixos, frente x atrás e direita x esquerda, o que nos permite garantir a verticalidade ou inclinação da estaca.

2.2.2.2) Torque

O torque disponível será obviamente, no máximo, o da perfuratriz. Quando se usa diâmetros pequenos o limite pode estar na resistência do trado e um cuidado especial deve ser tomado quando atravessamos camadas de solo muito resistente, pois a perfuratriz pode vir a danificar o trado.

2.2.2.3 - Velocidade de penetração do trado

Ao contrário das perfuratrizes para estacas escavada, as utilizadas usualmente para hélice contínua não possuem “ PULL DOWN ”. Assim a velocidade de penetração é função da velocidade de rotação, o trado “enrosca-se” no solo e desce sem restrições, da máquina, o guincho solta o cabo sem esforço, a medida que o trado solicita. Quando apesar de já estarmos girando com uma velocidade muito baixa o torque permanece excessivamente alto, travamos através do guincho o trado, impedindo-o de descer e continuamos a girar, conseguimos desta forma “aliviar o terreno” baixar o valor do torque e então continuar a perfurar. Este procedimento, necessário e inevitável, só deve ser usado nas situações realmente inevitáveis pois pode provocar um desconfinamento, não desejável.

2.2.2.4) Velocidade de rotação do trado

Operamos sempre em baixa velocidade de rotação, pois a penetração do trado é função da rotação. Uma penetração rápida, conduz a alta velocidade de penetração e altos torques. Como temos limitação de potência e torque precisamos manter a velocidade de rotação baixa.

3 - PROJETO

Atualmente as empresas que comercializam este tipo de estacas possuem equipamentos que permitem executá-las com comprimento máximo de 24 m e diâmetros variando de 27,5 a 100 cm. Na Tabela 3.1 indicam-se os diâmetros utilizados, bem como as cargas máximas suportadas e o espaçamento sugerido entre eixo de estacas.

Tabela 3.1: Características das Estacas Hélice Contínua

Descrição	un	Valores										
Diâmetro	cm	27,5	30	35	40	42,5	50	60	70	80	90	100
Carga admissível estrutural (ver nota)	kN	350	450	600	800	900	1.300	1.600	2.400	3.200	4.000	5.000
<i>if</i>		35	45	60	80	90	130	160	240	320	400	500
espaç ^o sugerido	cm	60	75	90	100	110	130	150	175	200	225	250

Nota: A carga máxima admissível estrutural indicada nesta tabela atende ao item 7.8.6.4 da NBR 6122/96. ($f_{ck} = 20$ MPa; $\gamma_c = 1,8$; $\gamma_r = 1,4$). Trata-se portanto, da carga máxima que a estaca poderá resistir; visto que corresponde à resistência estrutural do material da mesma. Entretanto há necessidade de dotar a estaca de um comprimento tal para que essa carga possa ser atingida sob o ponto de vista do contacto estaca-solo. Este procedimento constitui o que se denomina “previsão da capacidade de carga”, conforme abordado no item 3.3

3.1 - ESPAÇAMENTOS E SEQUÊNCIA EXECUTIVA

O espaçamento sugerido entre eixos de estacas é de 2,5 vezes o diâmetro da mesma, que atende aos itens 7.7.2 e 7.7.5 da NBR 6122.

Entretanto é importante observar uma sequência executiva que garanta que só se inicie a execução de uma estaca quando todas as outras situadas em um círculo de raio 5 vezes o seu diâmetro já tenham sido executadas há, pelo menos, 24 horas.

A distância mínima do eixo de uma estaca à divisa (quando existe uma parede), depende do tipo do equipamento. Os equipamentos com torque de até 35 kNm permitem trabalhar com o centro da estaca a 35 cm da divisa. Entretanto os equipamentos com maior torque requerem de 100 a 120 cm.

Outro aspecto importante referente à execução de estacas hélice contínua diz respeito ao número de diâmetros projetados. Cabe lembrar que cada diâmetro é executado com um determinado trado, o qual deve ser trocado se o diâmetro da estaca muda. O tempo de troca de um trado consome de 2 a 4 horas. Por isso há necessidade de se otimizar o número de diâmetros da obra.

3.2 - PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

A Figura 3.1 mostra duas situações de estacas do mesmo tipo, instaladas num mesmo solo. O caso *a* corresponde a estacas com mesmo diâmetro, 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 com o mesmo comprimento, mas com

diâmetros diferentes. Neste caso a estaca de maior diâmetro apresentará maior capacidade de carga. Portanto o projeto de um estaqueamento, onde já se definiu o tipo de estaca, consiste em otimizar diâmetros e comprimentos para essas estacas. É claro que nessa otimização, sempre que possível, devem-se usar comprimentos que permitam atingir a carga admissível estrutural (no caso das estacas hélice contínua, indicadas na Tabela 3.1) que é a carga máxima a aplicar à estaca. Entretanto não se deve perder de vista o número de diâmetros a utilizar num projeto, pelas razões expostas anteriormente.

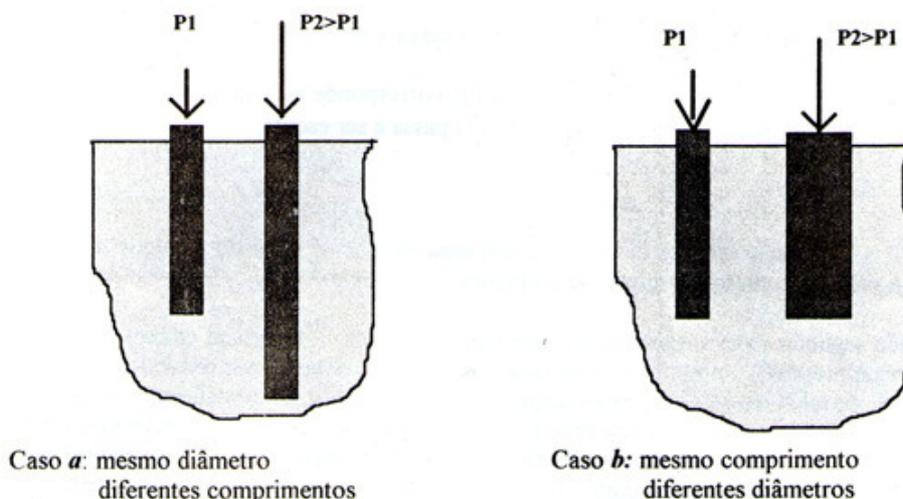


Figura 3.1: Capacidade de carga de estacas do mesmo tipo em um mesmo solo

Por ocasião do SEFE III - 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, promovido pela ABMS e ABEF e realizado nos dias 25 a 27 de novembro de 1996, em São Paulo, foram propostos dois métodos de previsão da capacidade de carga de estacas hélice contínua: o de Antunes & Cabral e o de Alonso.

O primeiro utiliza os tradicionais ensaios SPT e afere seus resultados utilizando 9 provas de carga (7 do arquivo da FUNDESP e 2 do arquivo da GEOFIX) e o segundo utiliza os ensaios de torque obtidos com a nova metodologia de ensaio SPTT, proposto por Ranzini (1988 e 1994) e afere seus resultados com 5 provas de carga (3 do arquivo da GEOFIX e 2 do arquivo da BRASFOND).

Ambos métodos admitem que a estaca trabalhe por resistência de ponta e por atrito lateral. A distribuição de carga por ponta e por atrito, depende do tipo de terreno e do comprimento da estaca, não havendo uma proporção definida.

Para melhor avaliar este aspecto da questão, torna-se necessário realizar provas de carga instrumentadas. O procedimento mais confiável, para as estacas hélice contínua, uma vez que a concretagem da mesma precede a instalação de qualquer instrumento, é o de se instalar tubos galvanizados “cravados”, com a ponta fechada, na massa de concreto, imediatamente após a concretagem da estaca, no interior dos quais se instalarão os instrumentos de medida. A fixação desses instrumentos, dentro desses tubos galvanizados, pode ser feita com nata de cimento.

Entretanto, enquanto estas provas de carga não se realizam, torna-se necessário lançar mão de processos de interpretação das provas de carga existentes, que permitam separar as parcelas de ponta e de atrito. Um desses métodos foi proposto por Chin & Vail (1973), que parte da premissa de que a relação entre a carga aplicada no topo da estaca (P) e o recalque (d) correspondente é um ramo de hipérbole do tipo:

$$P = \frac{d}{a + md} \quad (1)$$

em que a e m são parâmetros característicos da curva carga x recalque.

Segundo estes autores, a carga de ruptura PR corresponde ao limite da expressão (1), quando $d \rightarrow \infty$. Neste caso, $P \rightarrow PR$, e a expressão (1) passa a ser escrita:

$$PR = \frac{1}{m} \quad (2)$$

em que m é o coeficiente angular da reta que tem para abscissas o valor do recalque d e para ordenadas o valor d/P , conforme se mostra na Figura 3.2.

Ainda segundo estes autores, desde que a ponta da estaca não esteja embutida em um substrato incompressível, a contribuição da carga de ponta, para pequenos recalques do topo, é desprezível, de tal sorte que para esses pequenos recalques do topo o coeficiente m da reta inicial (reta 1) fornece a medida da resistência PL , correspondente à transferência de carga por atrito lateral. Ao contrário, para grandes recalques do topo, quando toda carga disponível por atrito lateral PL já foi vencida, o ganho de carga total se deve à contribuição do ganho de carga da ponta, até o valor máximo de PR . Assim, o gráfico da Figura 3.2 tem dois segmentos de reta, sendo que o inverso do coeficiente angular do primeiro segmento (recalques pequenos do topo da estaca) corresponderá à parcela PL e o inverso do coeficiente angular do segundo segmento (maiores recalques) corresponderá à carga de ruptura PR . A diferença entre esses dois valores fornecerá a carga de ruptura devido à ponta ($PP = PR - PL$).

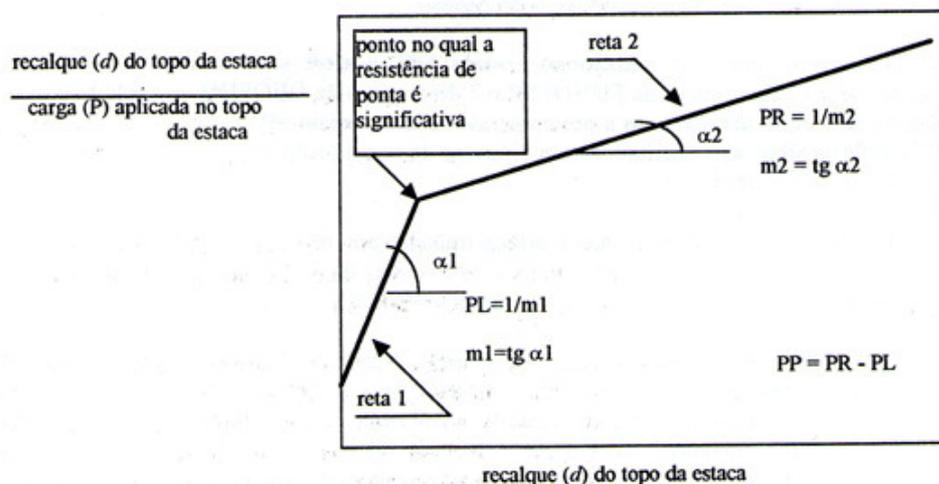


Figura 3.2: Obtenção de PL e PR segundo Chin e Vail (1973)

Recentemente, Decourt (1995) propôs uma modificação em um método por ele já apresentado em 1993 que permite, analogamente ao método de Chin e Vail separar as parcelas de atrito e de ponta a partir da curva carga-recalque de uma estaca. Como este método é recente e facilmente encontrado, pois foi divulgado na Revista SOLOS E ROCHAS, que é distribuído a todos os Associados da ABMS, deixa-se de resumí-lo nestas anotações, sugerindo que se recorra à fonte de origem citada nas Referências. Entretanto uma aplicação deste método é apresentado na interpretação da curva carga-recalque da Figura 3.7.

3.3 - ESTACAS ATRAVESSANDO ARGILAS MOLES E AREIAS SUBMERSAS

As figuras 3.3 a 3.6 apresentam perfis geotécnicos constituídos ou por argilas orgânicas ou por areias submersas onde se realizaram estacas hélice contínua. A estaca da Figura 3.3, foi submetida a prova de carga. O perfil geotécnico do local onde foi executada esta estaca foi selecionado pelo NRSP e enviado junto com a circular para fazer a previsão da carga de ruptura da mesma. O resultado da prova de carga está mostrado na Figura 3.7, onde, a título ilustrativo, se indicam as parcelas de resistência por atrito lateral (PL) e por ponta (PP), obtidas a partir do método proposto por Decourt (1995).

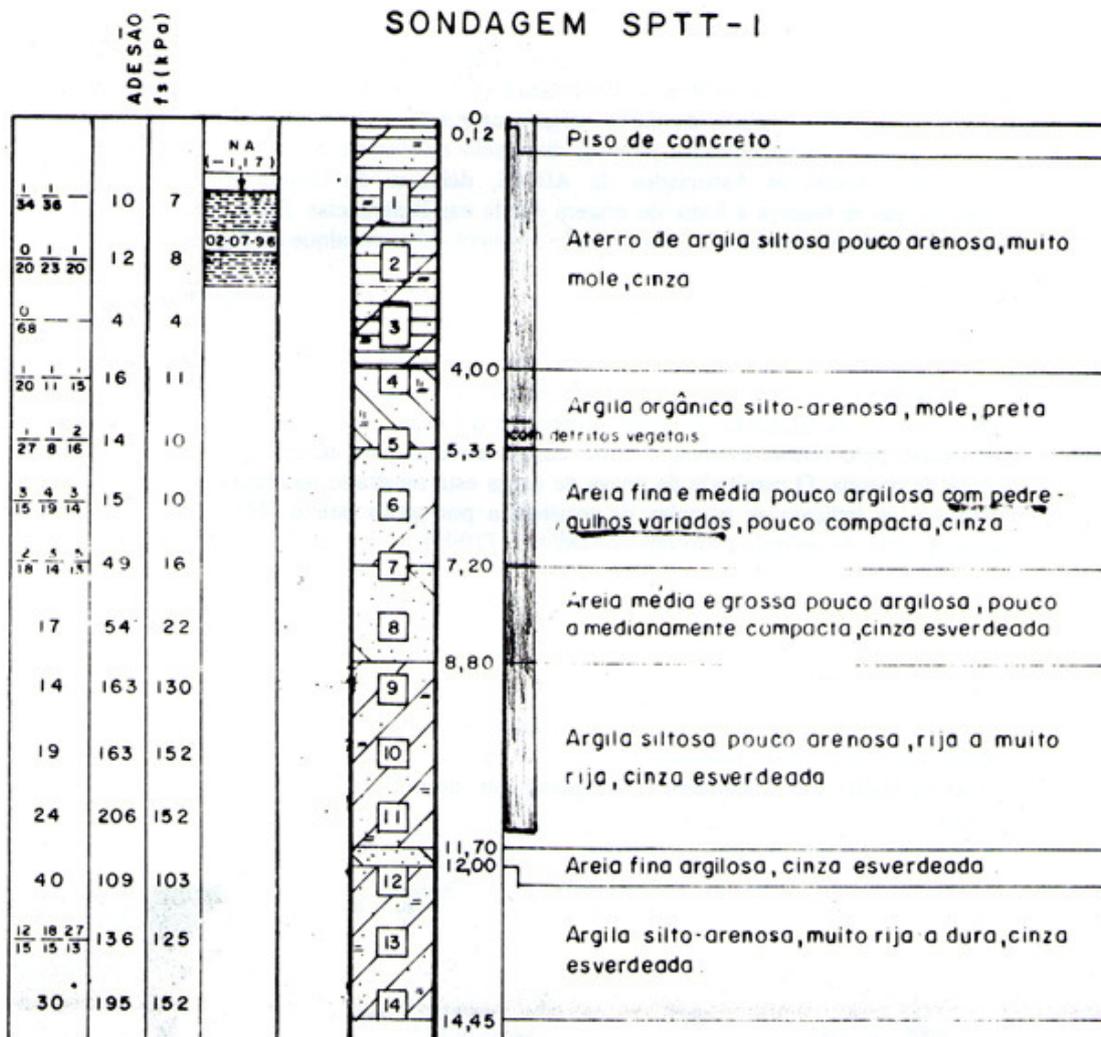
As estacas da Figura 3.4 foram armadas ao longo de 11m, onde ocorre espessa camada de argila orgânica, utilizando-se vibrador acoplado à armadura, conforme se mostra na Foto 3.1.

As estacas da Figura 3.5 foram executadas atravessando espessa camada de aterro lançado sobre solo mole, embutindo sua ponta em solo de alteração de rocha. Finalmente as estacas da Figura 3.6 constituem o estaqueamento de um prédio em execução na Enseada - Guarujá.



Foto 3.1: Instalação de armadura com vibrador

SONDAGEM SPTT-1



$$f_s = \frac{100 T}{(kPa) 0,41h - 0,032}$$

REVESTIMENTO (m)		0,00 a 8,80
PERFURAÇÃO (m)	TRADO	0,00 a 2,00
	CIRCULAÇÃO DE ÁGUA	2,63 a 14,00

Figura 3.3: Perfil enviado juntamente com a circular para a previsão de PR

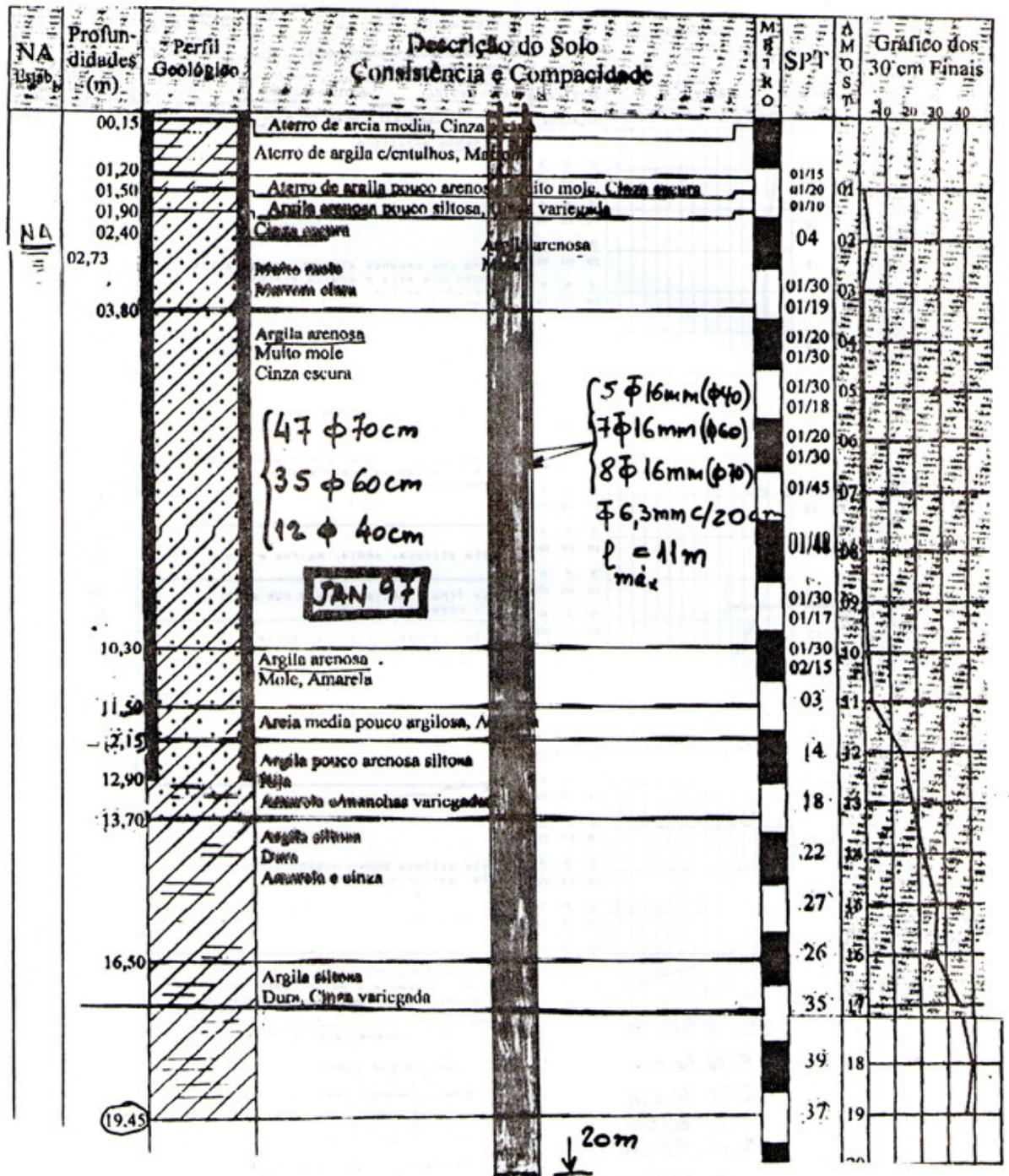
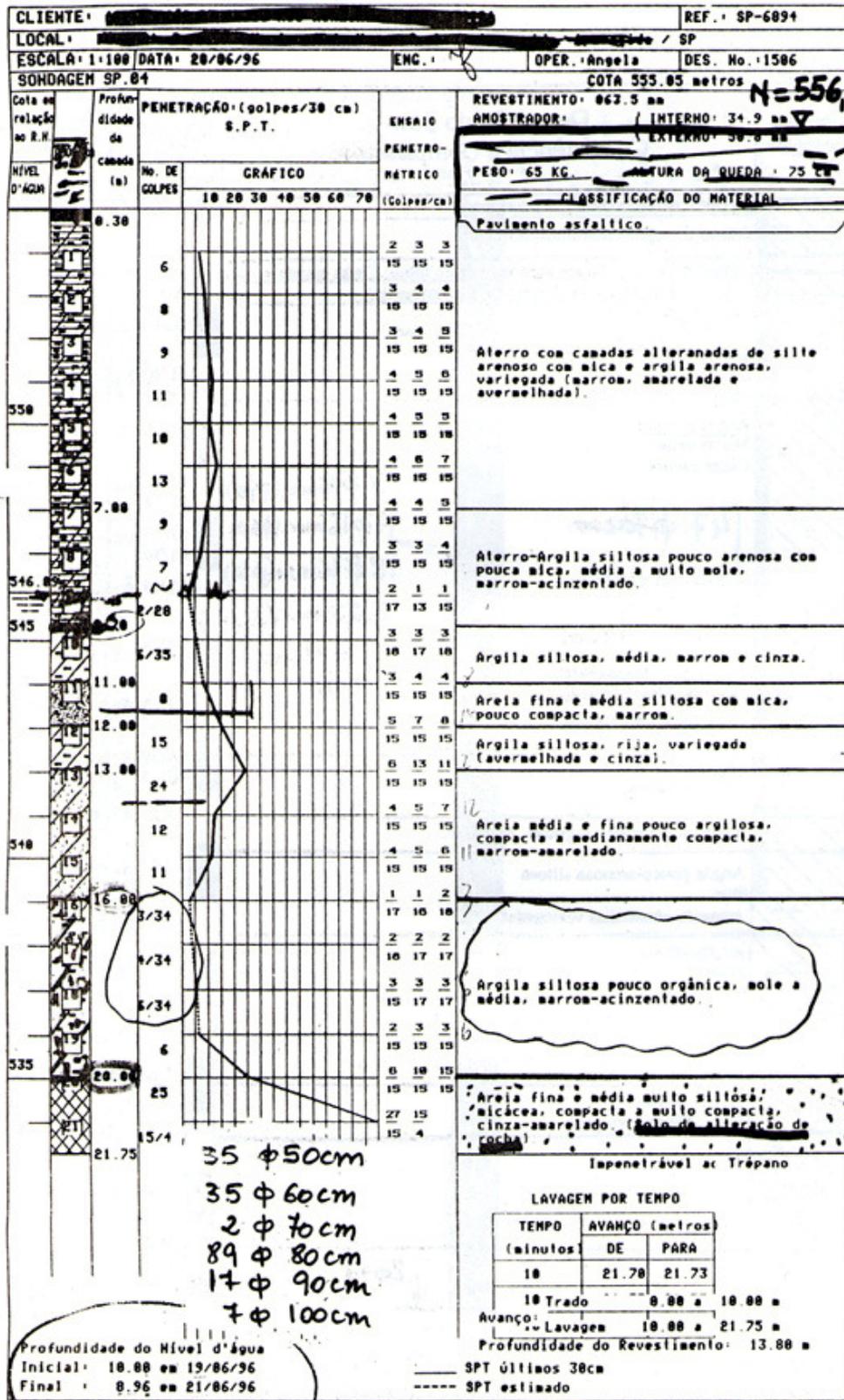


Figura 3.4: Estacas com 11m de armadura instalada com vibrador (ver Foto 3.1)



N=556,50
aterro recente

ATERRO ANTIGO

Figura 3.5: Estacas executadas através de aterro sobre solo mole sobrejacente a solo residual

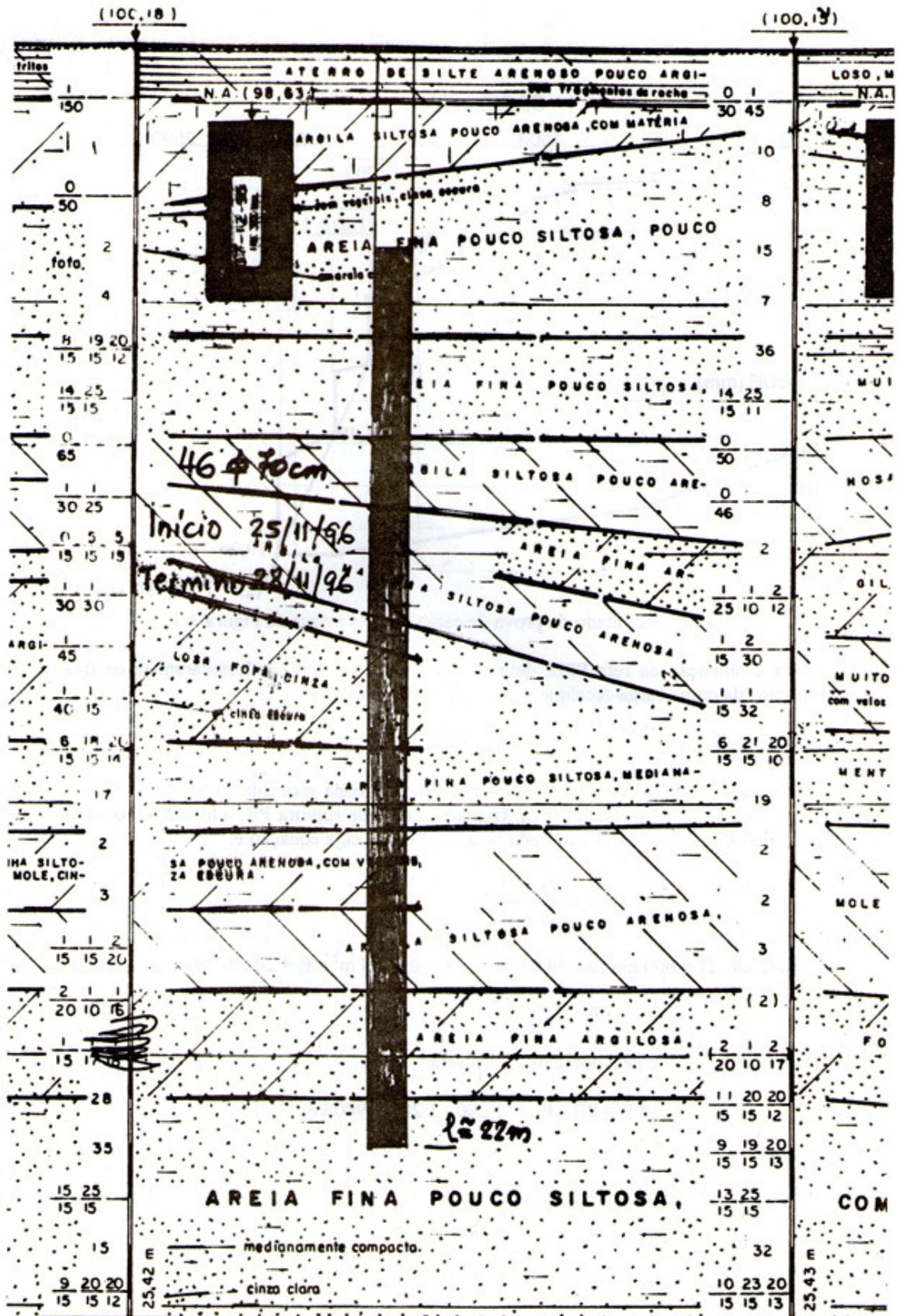


Figura 3.6: Estacas executadas no Guarujá

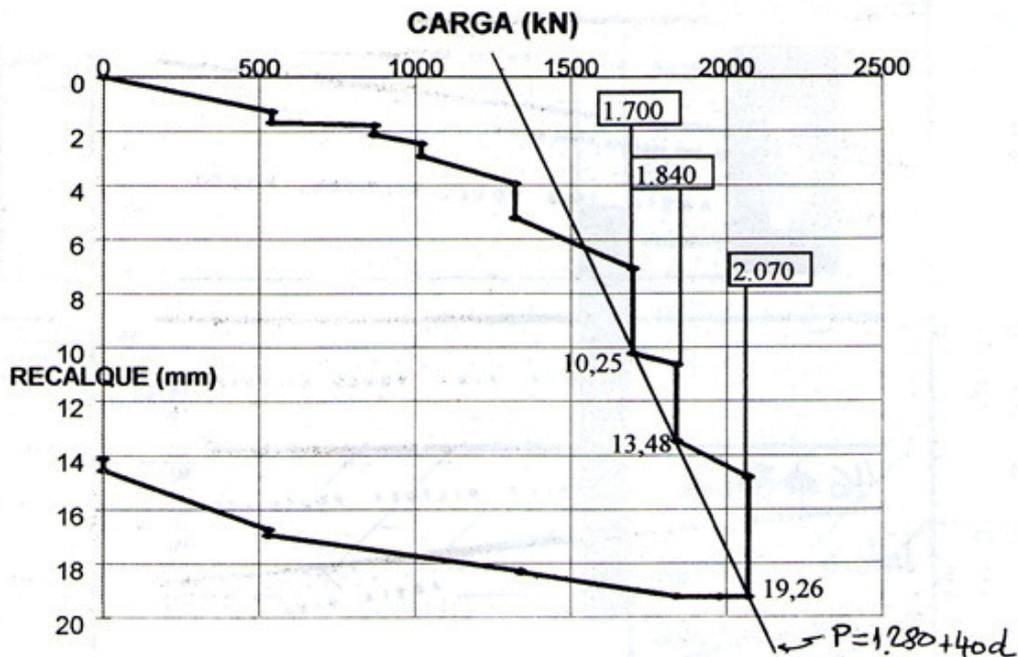


Figura 3.7: Resultado da prova de carga sobre a estaca da Figura 3.3

Para a obtenção da reta PPL, definida por Decourt (1995), selecionaram-se os três últimos pontos da curva carga-recalque, que fornecem a equação

$$P = 1.280 + 40.d \quad (3)$$

Nesta expressão, o valor 1.280 kN representa a parcela estimada para a transferência de carga da estaca por atrito lateral (PL). Quanto à carga de ruptura PR, adotaremos o valor da interseção desta reta com a preconizada pela NBR 6122, cuja equação é:

$$d = \frac{D}{30} + \frac{P.l}{A.E} \quad (4)$$

Adotando: $D = 600$ mm; $l = 11.460$ mm; $A = 0,2825$ m² e $E = 20 \times 10^6$ kN/m² obtem-se:

$$PR = 2.260 \text{ kN}$$

A carga transferida pela ponta da estaca será:

$$PP = PR - PL = 2.260 - 1.280 = 980 \text{ kN}$$

3.4 - REFERÊNCIAS

- Alonso, U.R. (1996) "Estaca Hélice Contínua com Monitoração Eletrônica - Previsão da Capacidade de Carga Através do Ensaio SPTT"- SEFE III - vol 2, pp. 141-151.
- Antunes, W.R. & Cabral, D.A. (1996) "Capacidade de Carga de Estacas Hélice Contínua" - SEFE III - vol 2, pp.105 - 108.
- Chin, F.K. e Vail, A.J. (1973) "Behaviour of Piles in Alluvium" - Proc. 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engeneering, Moscow, vol 2.1, pp. 47-57.
- Décourt, L. (1995) "On the Load-Settlement Behavior of Piles" - Revista SOLOS E ROCHAS - Edição Especial "CONFERÊNCIAS ODAIR GRILLO" - vol 18, nº 2, pp. 93 - 112.
- Ranzini, S.M.(1988 e 1994) - Notas Técnicas na Revista SOLOS E ROCHAS da ABMS - vol 11, nº único, pp. 29 e 30 e vol 17, nº 3, pp. 189 -190.

4. ASPECTOS EXECUTIVOS

4.1. PERFURAÇÃO

A perfuração consiste em cravar a hélice no terreno por meio de uma mesa rotativa colocada no seu topo, que aplica um torque apropriado para vencer a sua resistência.

O volume do terreno levado à superfície é geralmente menor que o volume teórico da perfuração e a hélice, uma vez que extraída do terreno, apresenta um grau de preenchimento das espirais variável conforme a natureza do terreno atravessado.

O avanço é sempre inferior a um passo por volta e a velocidade decresce ao aumentar as características mecânicas do terreno.

A metodologia de perfuração permite a execução em terrenos arenosos e argilosos, na presença ou não do lençol freático, em camadas de cascalho não muito espessas, conforme alguns exemplos de obras executadas a seguir:

4.1.1. Em camadas de areia submersa

O perfil da fig. 4.1 ilustra a execução de estacas hélice contínua em camadas alternadas de areia de compactidade variada e argila submersas.

Os diâmetros utilizados foram de 40, 50, 60, 70 e 80 cm e profundidades de 19 a 23 m totalizando 212 estacas.

Foram realizadas 120 Ensaios de Integridade P.I.T., 4 Ensaios de Carregamento Dinâmico P.D.A., além da monitoração usual feita pelo TARACORD CE em todas as estacas.

LOCAL: Rua da Aurora, antigos nºs 1737, 1255, 1265, 1281 - Recife		RELATÓRIO Nº: 2877/82	
ESCALA: 1:100	DATA: 16/06/82	SOLICITANTE: S- IIA	
PROJETO: [assinatura]		EXECUTIVO: [assinatura]	
PENETRAÇÃO MARCHO DE GOLPES 30 cm		REVESTIMENTO: Ø = 20"	
P. E. 2ª PENETRAÇÃO		Ø P. 2" Ø = 130"	
P. E. 3ª PENETRAÇÃO		PESO 40 kg - ALTURA DE QUEDA 15 cm	
P. E. 4ª PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	

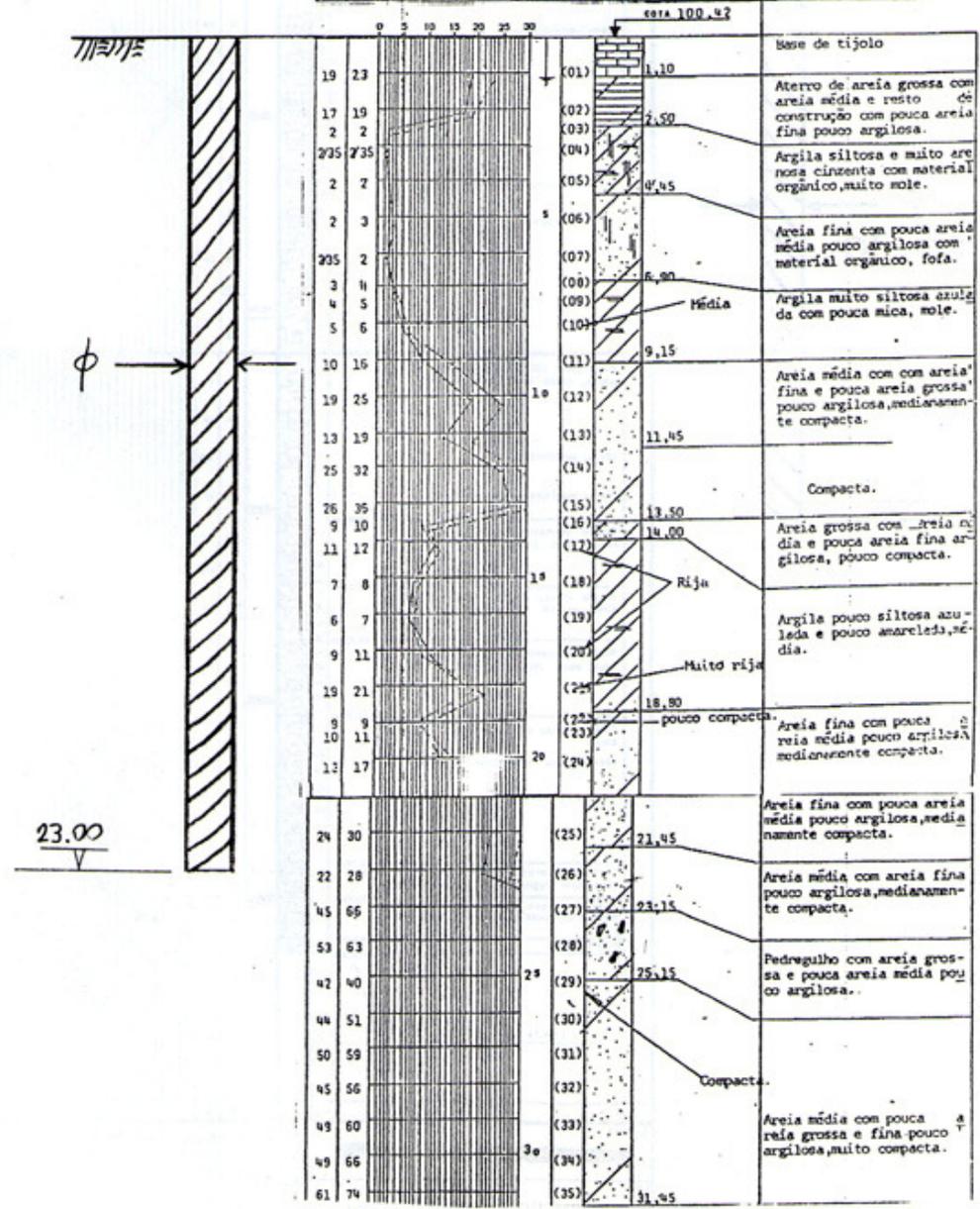
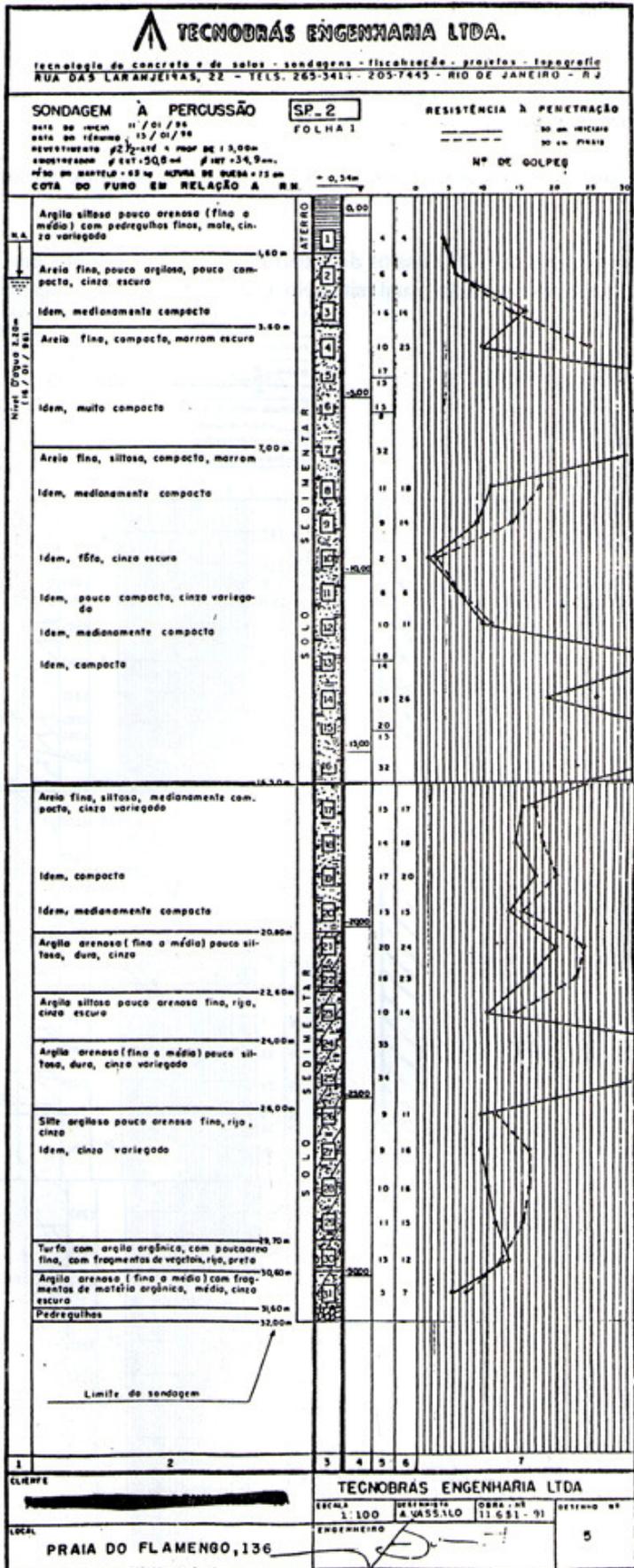
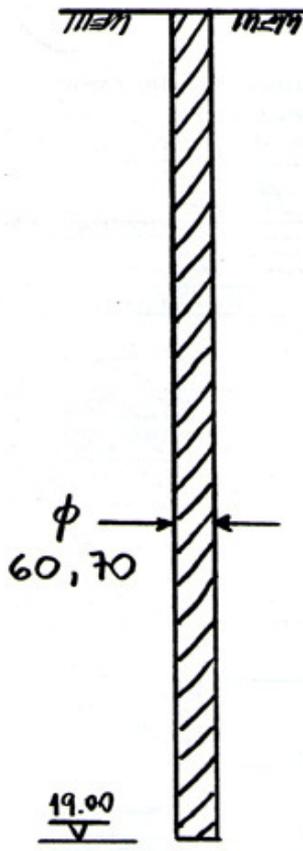


Fig. 4.1

Fig. 4.2



4.1.2. Em camadas de solos resistentes

A fig.4.3 mostra o perfil do subsolo com uma estaca hélice contínua executada a partir da cota 81,80 m com diâmetro 70 cm e 23 m de profundidade, em silte arenoso com SPT > 50. O equipamento utilizado possui torque de 93 KN X m.

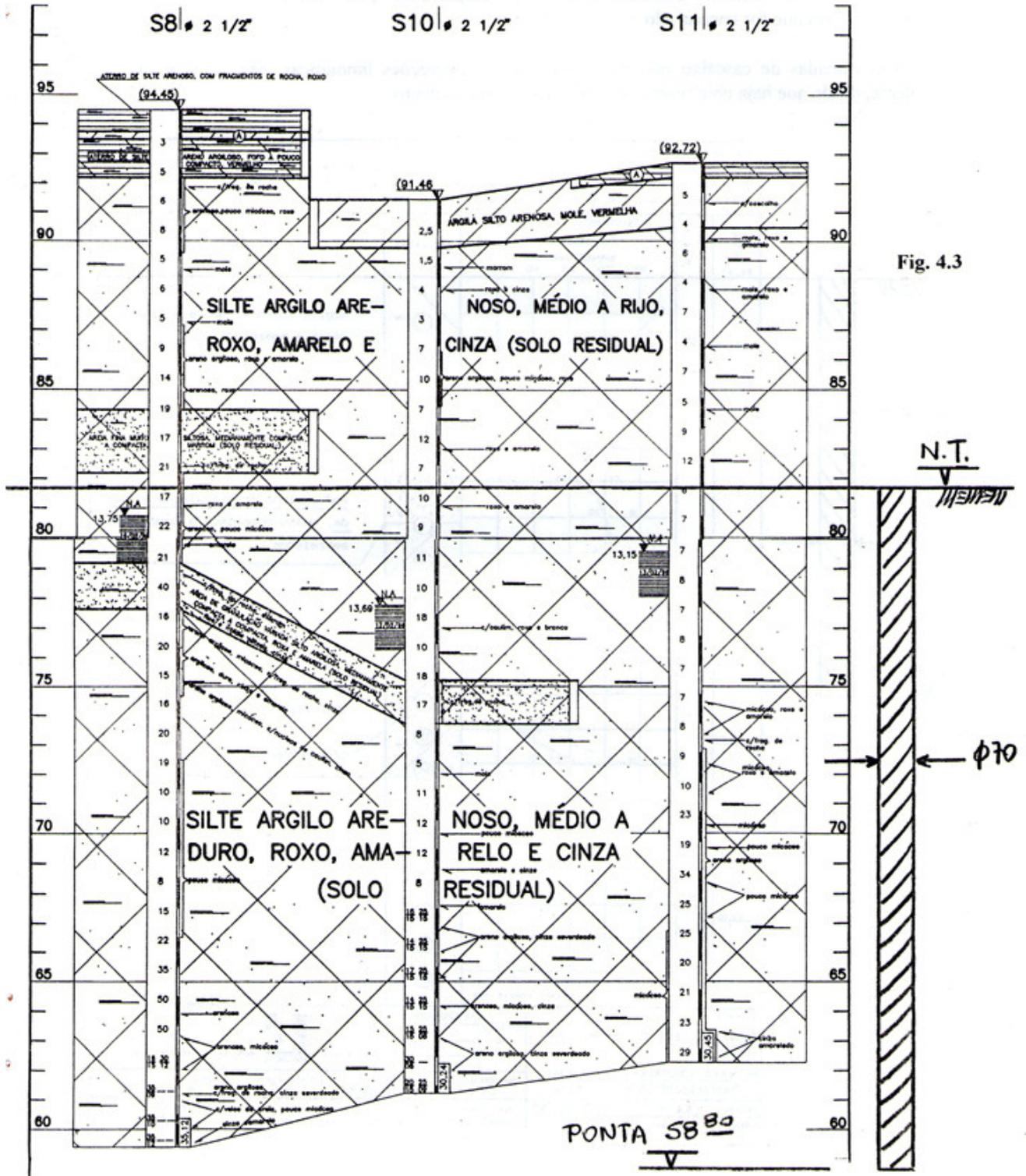
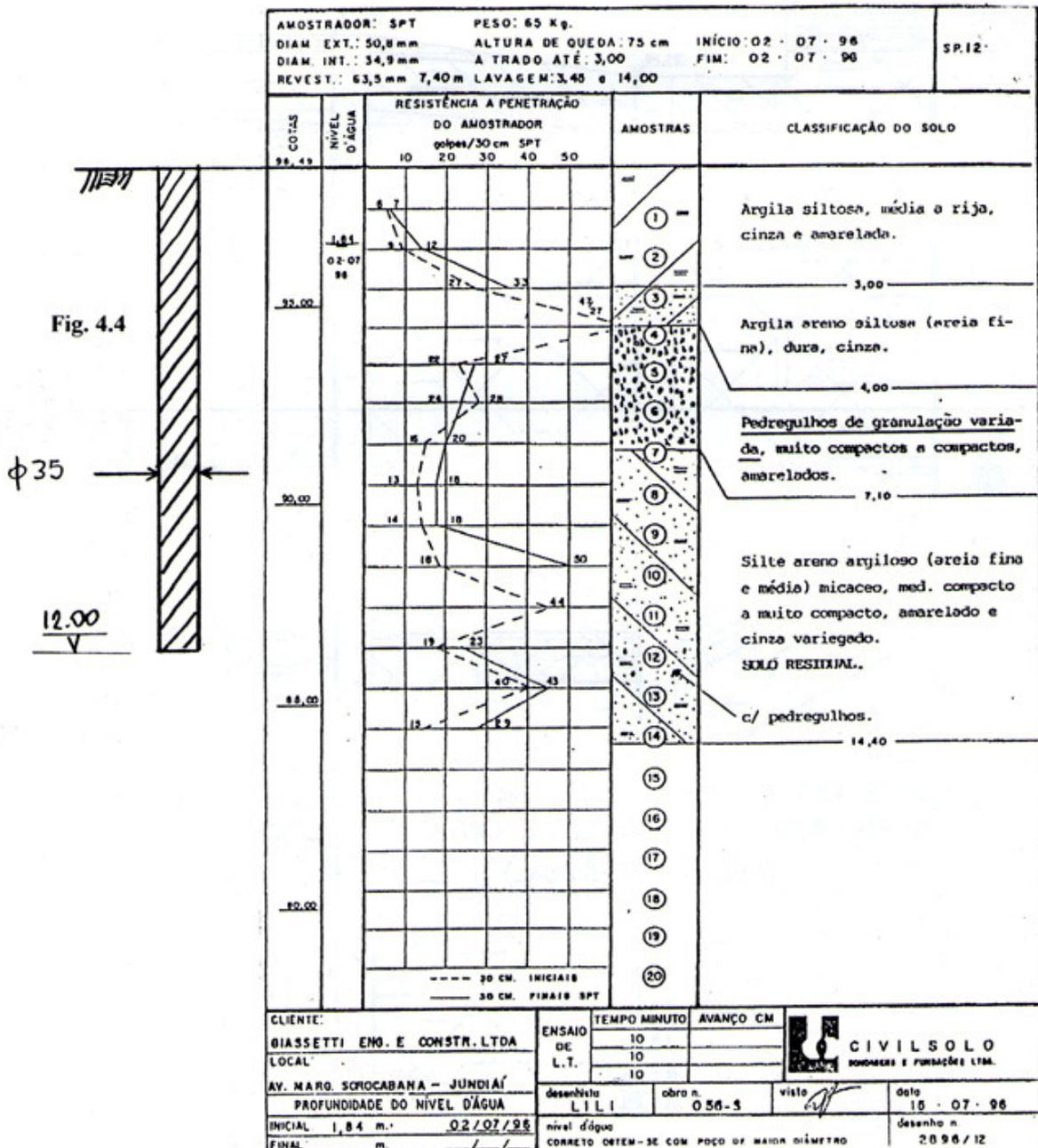


Fig. 4.3

4.1.3. Na presença de matacões, camadas de cascalho e concreções limoníticas

Matacões de pequeno diâmetro podem ser empurrados pela hélice dependendo da profundidade em que for encontrado.

Em camadas de cascalho não muito espessas e concreções limoníticas, não há nenhum problema, desde que haja uma reserva de potência no equipamento.

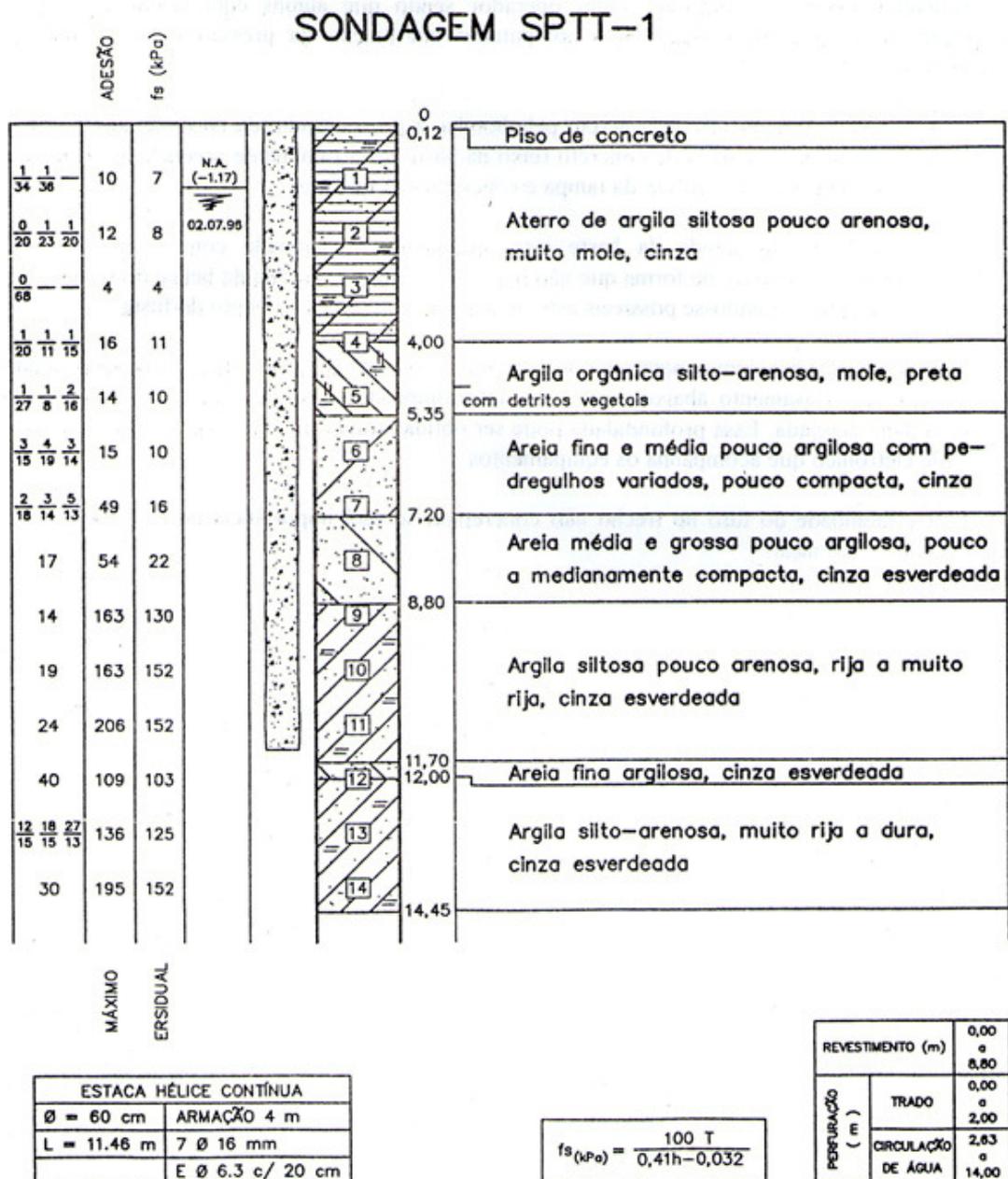


4.1.4. Camadas superficiais espessas de solo mole sobrepostas a camadas muito duras ou compactas

Se for possível penetrar na camada dura ou compacta adjacente, o suficiente para atender as cargas de projeto, não haverá problema.

Nos casos da estaca não penetrar no solo resistente, as cargas de trabalho deverão ser reduzidas e compatíveis com a resistência da ponta.

Fig. 4.5



4.2. CONCRETAGEM

O concreto é introduzido na estaca através do (eixo) central da hélice com auxílio de uma bomba ligada a haste de perfuração por um mangote flexível de 100 a 150 mm de diâmetro.

A perfuração é preenchida pelo concreto simultaneamente a retirada da hélice do terreno, que é extraída sem girar ou girada lentamente no mesmo sentido do avanço.

A pressão do concreto não é suficiente para retirar do terreno a hélice junto com o material depositado na sua espiral, devendo ser auxiliado pelos cabos do guindaste. A retirada da hélice é normalmente manual e controlada pelo operador sendo que alguns equipamentos possuem elevação automática determinada pelo computador em função da pressão e do volume de concreto injetado.

Ao iniciar o lançamento de concreto pela bomba, a pressão indicada no mostrador começa subir significando que a coluna de concreto (eixo da haste) está totalmente preenchida. A haste é lentamente levantada para expulsão da tampa e concretagem do fuste.

A velocidade de subida da haste está diretamente relacionada com a pressão e o sobreconsumo de concreto, de forma que não haja vazios entre a retirada da hélice do terreno e o seu preenchimento, evitando-se possíveis estrangulamentos ou seccionamento do fuste.

O preenchimento com concreto é normalmente executado até a superfície de terreno, sendo possível o seu arrasamento abaixo desta cota, interrompendo-se o lançamento do concreto na profundidade desejada. Essa profundidade pode ser obtida através da marcação no trado ou pelo controle eletrônico que acompanha os equipamentos.

A estabilidade do furo no trecho não concretado só terá importância no caso em que se deseja colocar armação.

4.3. COLOCAÇÃO DA ARMAÇÃO

O método executivo da estaca hélice contínua exige a colocação da armação após a sua concretagem e portanto com as dificuldades inerentes a esse processo construtivo.

A armadura deve ser pré-montada em “gaiolas” e introduzida na estaca por gravidade ou com auxílio de um pilão ou vibrador.

As “gaiolas” devem ser constituídas por barras grossas e estribo soldado (ponteados) na armadura longitudinal para evitar a sua deformação durante a introdução no fuste da estaca. Em armaduras longas, recomenda-se o uso do estribo espiral soldado para melhorar a rigidez da gaiola.

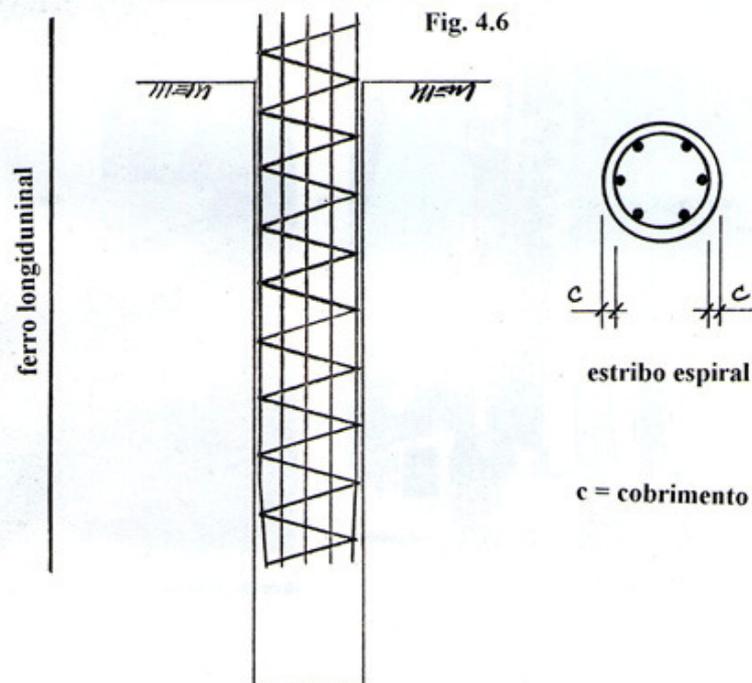
As estacas submetidas a esforços de compressão normalmente não necessitam de armação conforme NBR - 6122 ficando a critério do projetista a armação de ligação com o bloco.

No caso de estacas submetidas a esforços transversais ou de tração é usual comprimentos de armadura de até 12 m. Houve casos experimentais onde se colocou 17 m de armação com 7 barras longitudinais ϕ 25 mm - CA 50, emendadas com solda topo, e estribo espiral ϕ 10 mm - CA 25 soldado na armadura longitudinal.

A colocação da armação em estacas com arrasamento de até 3 m só é possível em solos em que não há desbarrancamento.

A fig. 4.6 ilustra o tipo de gaiola recomendável.

SUGESTÃO PARA ARMAÇÃO DA ESTACA HÉLICE CONTÍNUA SUBMETIDA A ESFORÇOS TRANSVERSAIS



4.4. ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA COMO CONTENÇÃO

A Estaca Hélice Contínua pode ser usada como estrutura de contenção, associada ou não a tirantes protendidos, próximos a estruturas existentes por não causar vibração nem descompressão do terreno, desde que os esforços transversais sejam compatíveis com os comprimentos de armação até o momento testados.

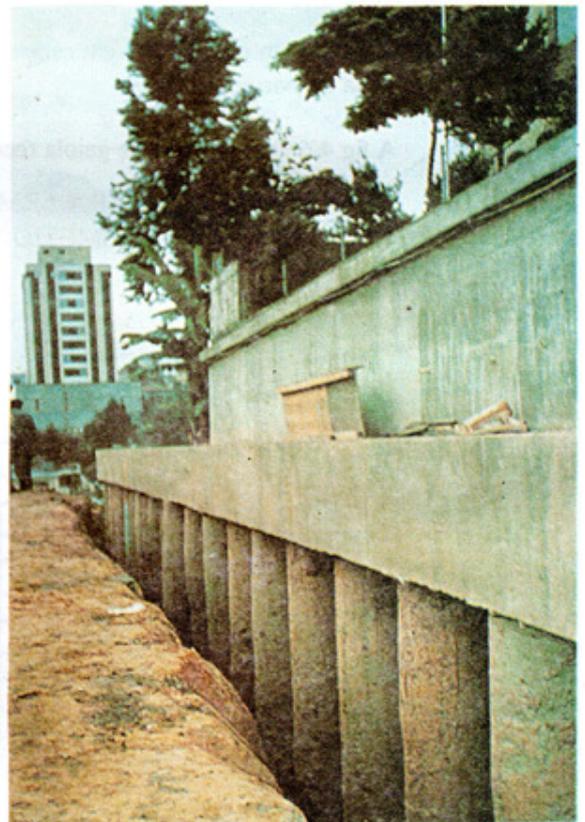
As Fotos 4.1 e 4.2 mostram um muro de contenção executado com estaca hélice contínua de diâmetro 70 cm, onde foi colocada armadura de 12 m de comprimento com auxílio de vibrador e as fotos 4.3, 4.4 e 4.5 mostram um muro de contenção em estacas hélice contínua após o desabamento da Rua Luiz Parizoto, em São Paulo.

Foto 4.1



Colocação da armadura de 12m com vibrador.

Foto 4.2



Muro de contenção em estacas hélice contínua Ø70 cm.



Foto 4.3



Foto 4.4

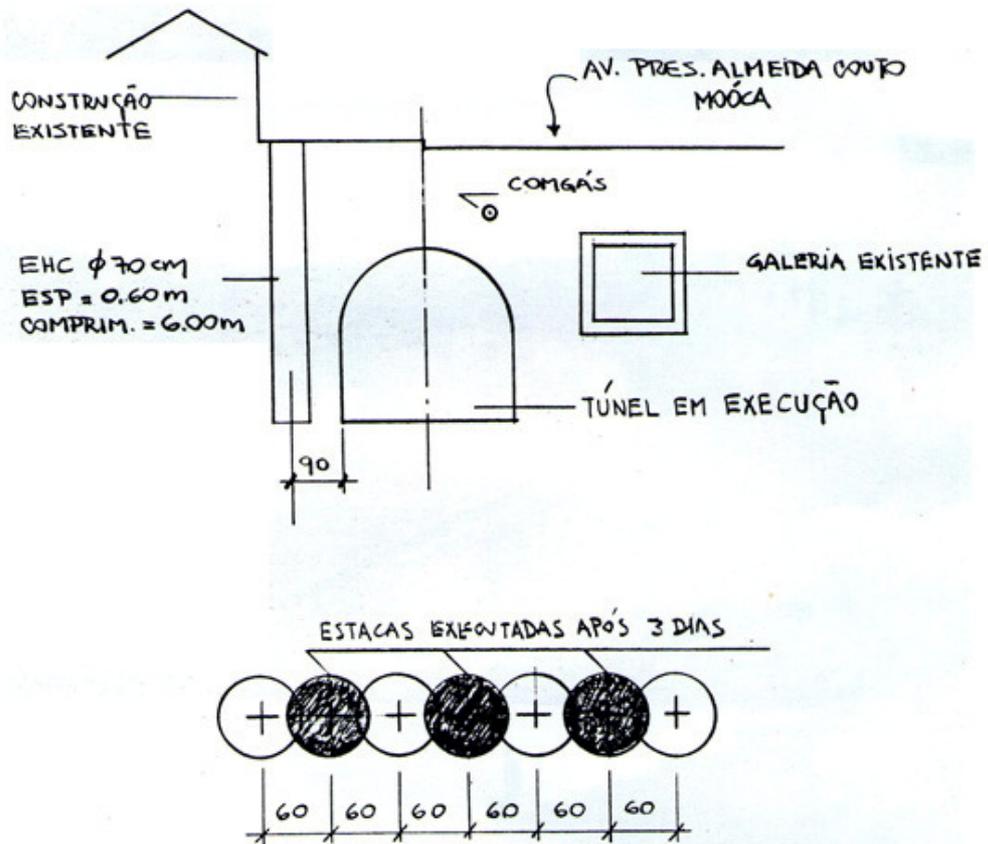


Foto 4.5

A Fig.4.7 mostra uma cortina de estaca hélice contínua de diâmetro 70 cm, secantes entre si, para proteção de construções antigas e precárias, dos recalques provocados pela construção de um túnel para esgoto.

As estacas foram preenchidas com argamassa de cimento e areia e perfuradas pelas estacas secantes com 3 dias de idade.

Fig. 4.7



4.5. ESTACAS INCLINADAS

É possível a execução de estacas inclinadas para um ângulo máximo, permitido pelo equipamento, de 14° (1:4) em relação à vertical dependendo também da profundidade da estaca.

Para estacas de até 15 m é possível executar na inclinação de 14° mas estacas com comprimentos maiores, recomenda-se não ultrapassar os 12° (1:5).

A única obra em que se utilizou estacas hélice contínua inclinadas foi na recuperação do túnel sob a Av. Santo Amaro, em São Paulo, onde foram usadas como contenção.

As figs. 4.8 a 4.11 ilustram a forma em que a estaca hélice contínua foi utilizada

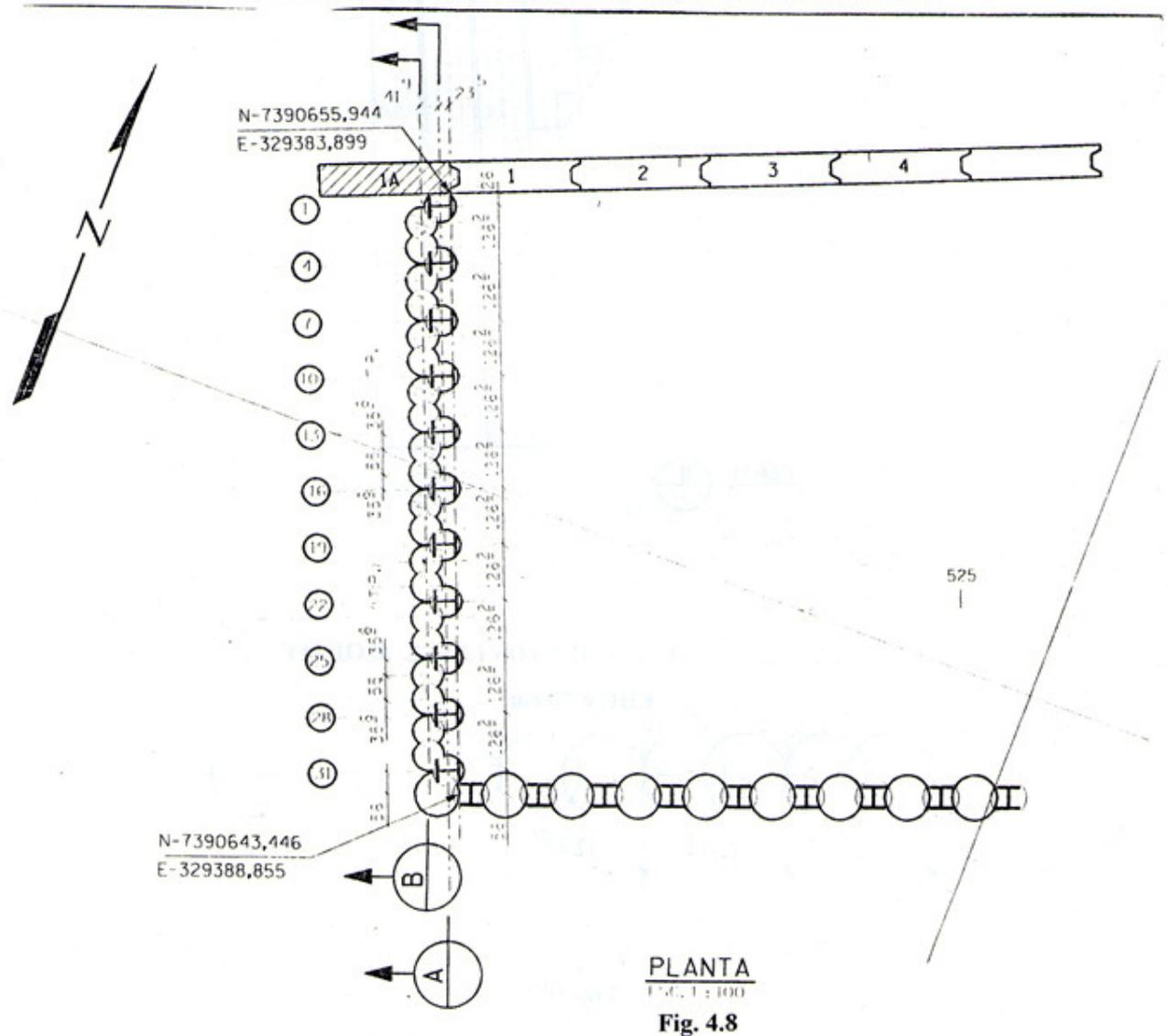


Fig. 4.9

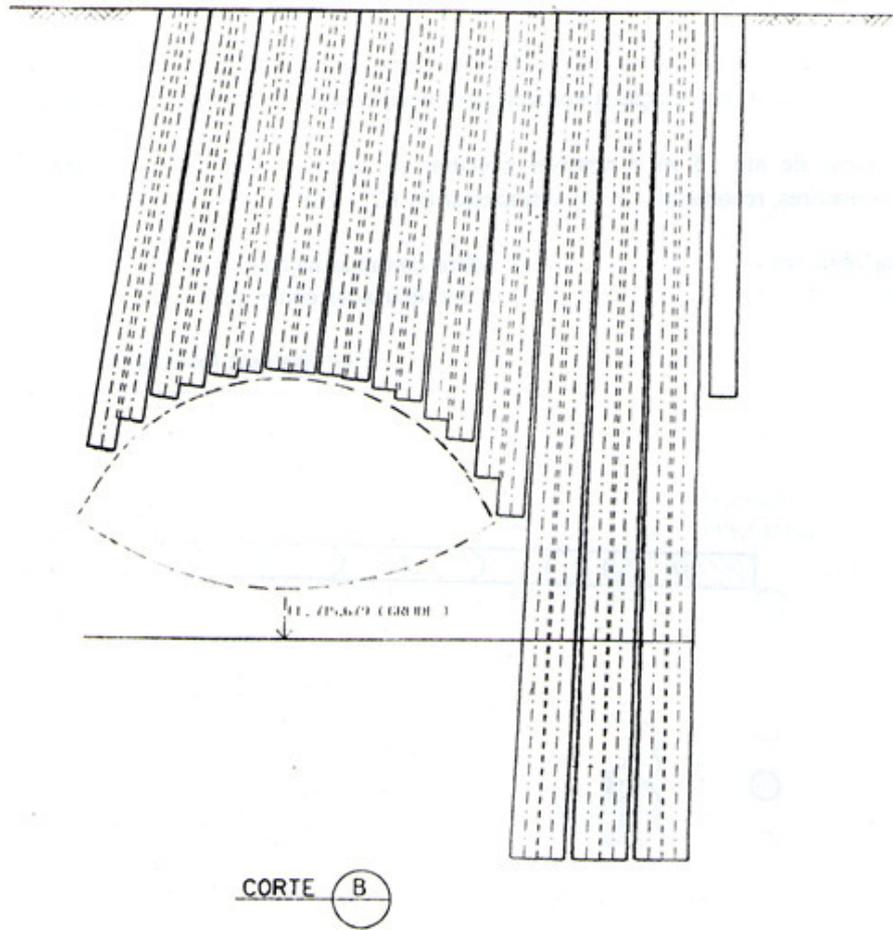


Fig. 4.10

DETALHE DOS FECHAMENTOS LESTE E OESTE

EHC ϕ 70 cm

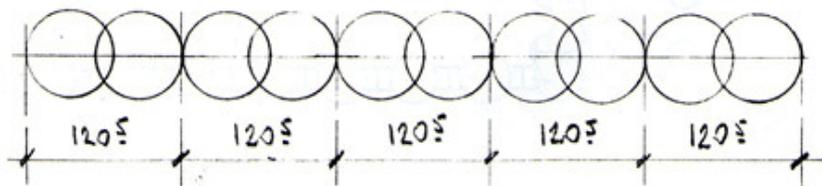
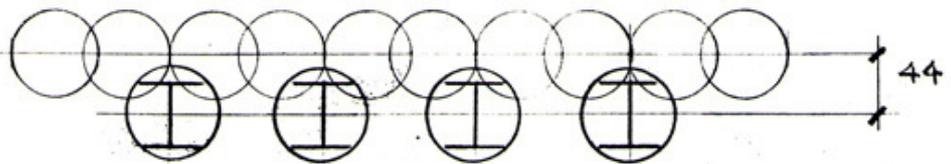


Fig. 4.11



ESTACA ESCAVADA ϕ 80 cm COM PERFIL IMPLANTADO

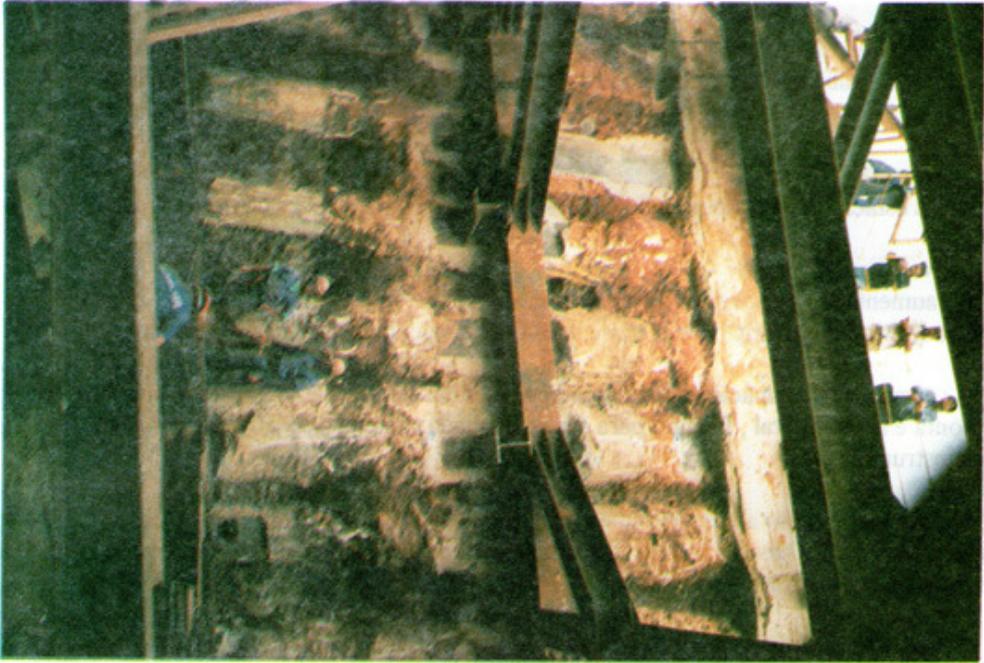


Foto 4.6



Foto 4.7

5. CONSIDERAÇÕES PARA DISCUSSÕES FUTURAS

Face ao debate ocorrido após a exposição , que procurou responder questões previamente estabelecidas , ficou claro que alguns pontos deverão ainda ser bastante discutidos:

5.1 Se as estacas hélice contínua deverão ser tratadas como estacas de deslocamento ou não;

5.2 Se aumentadas as pressões de injeção do concreto , hoje utilizadas , de até 2Kgf/cm^2 para garantir a integridade do fuste , melhoraria a capacidade de carga da estaca;

5.3 As previsões de capacidade de carga apresentadas consideraram a estaca trabalhando por ponta e atrito lateral , ficando para ser confirmada cada parcela através de provas de carga instrumentadas;

5.4 Há dúvidas quanto ao comportamento de duas estacas de mesmo diâmetro , comprimento e num mesmo terreno executadas por dois equipamentos de torques e velocidades de penetração diferentes;

5.5 Pelos exemplos mostrados constata-se que não se sabe ainda qual a correlação entre o SPT ou SPT-T e a profundidade possível de ser alcançada pelas estacas;

5.6 Os parâmetros de perfuração (torque , rotação e velocidade) poderão ser correlacionados com o SPT , SPT-T ou outros ensaios;

5.7 As situações já vividas e mostradas na presente exposição não significam uma generalização na adoção da solução devendo a viabilidade executiva ser analisada em cada obra , terreno , porte do equipamento e detalhes das ferramentas.

Foram recebidos os comentários dos eng. Wilson G. Assis e Roberto Foá pelos quais agradecemos esperando ter atendido suas solicitações.