

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PEF 3405 - Fundações

# Fundações Profundas

## Principais Tipos e Métodos Construtivos

# Tipos de estacas

- Mistas
  - Madeira-concreto
  - Aço-concreto
  - Concreto pré-moldado/moldado in loco
- Especiais
  - Estacas-raíz
  - Estacas-colunas

} JG  
CCP

# Macro Sub-divisão

- Estacas de grande deslocamento lateral: pré-moldadas, Franki
- Estacas de pequeno deslocamento lateral: metálicas H ou I
- Estacas sem deslocamento lateral: Strauss, escavadas

# Métodos de Implantação

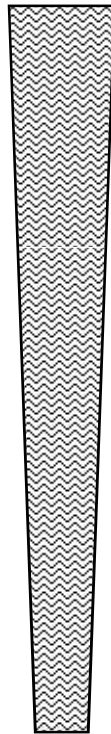
- Dinâmica
  - Impacto: martelos em queda livre com 1,5 a 5,0tf e  $H=0,5$  a 1,0m; simples ou duplo efeito (diesel)
  - Vibração: martelo vibratório (em areias ou argilas moles)
- Estática: por prensagem ou escavação e concretagem in situ



# Estacas de Madeira

- Mais antiga
- Constituída por troncos de árvore
- Hoje em declínio
- Madeira usada hoje: eucalipto.

# Estacas de Madeira



$d_c=20$  a  $25\text{cm}$

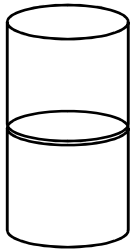
Cargas= $10$  a  $20\text{tf}$

$L=12$  a  $15\text{m}$

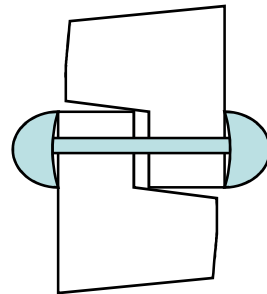
$d_p=15\text{cm}$

# Estacas de Madeira

- Vantagens
  - Facilidade de transporte e manuseio
  - Facilidade de cortes e emendas



Luvas de aço



Parafusos/Sambladura

# Estacas de Madeira

- Desvantagens
  - Dificuldade em encontrar madeira adequada
  - Pequenas cargas: 10 a 20tf
  - Durabilidade: ataque de organismos aeróbicos (fungos) ou no mar (moluscos e crustáceos)
  - Se estiverem sempre submersas não há problema
  - Tratamento: pintura com betume, impregnação com creosoto ou revestimento com concreto onde há oscilação de N.A.
  - Usos: obras provisórias (cimbramento de pontes ou em estacas mistas

# Estacas de Concreto

- Pré-moldadas em segmentos (Mega)
  - Circulares e ôcas
  - diâm. 20, 25 e 40cm
  - L=0,5; 1,0 e 2,0m
  - Cravação estática
  - Usos: reforço de fundações e quando não se toleram vibrações
  - Cargas: 30 a 60tf

# Estaca Mega

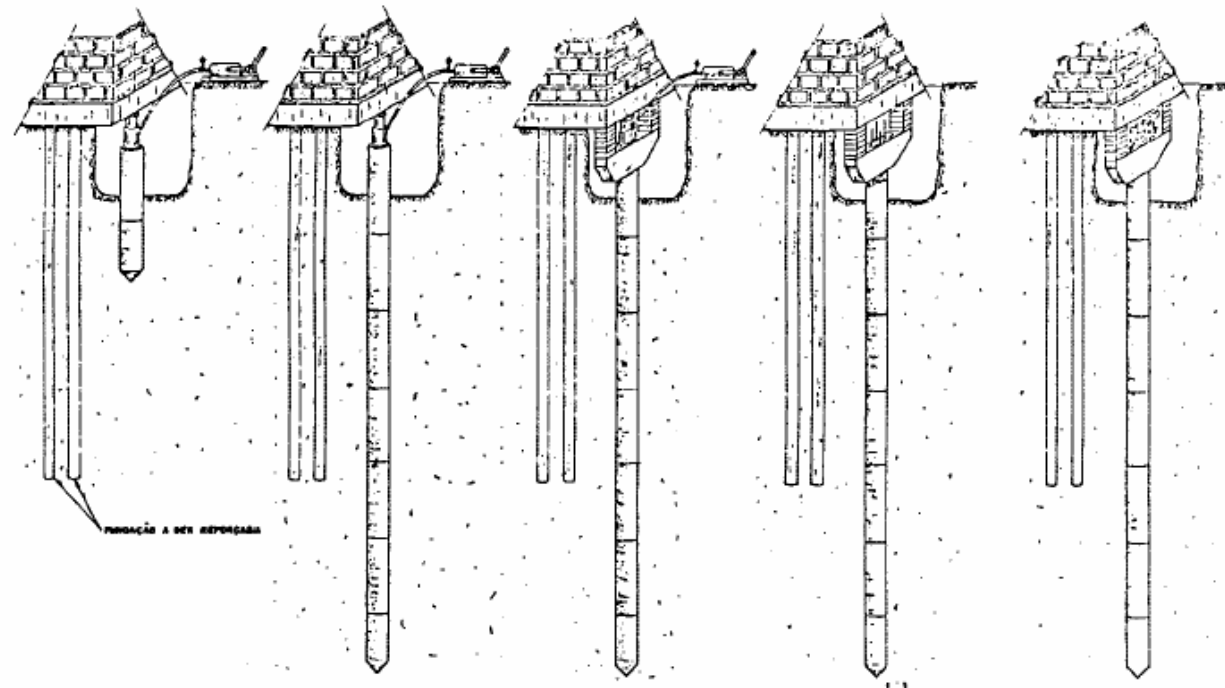


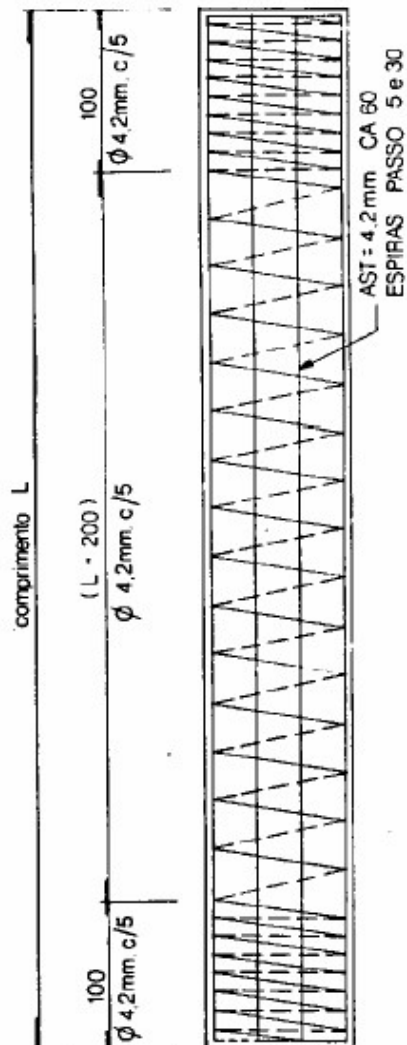
Figura 3.12: Estaca Mega

# Estaca pré moldada cravada

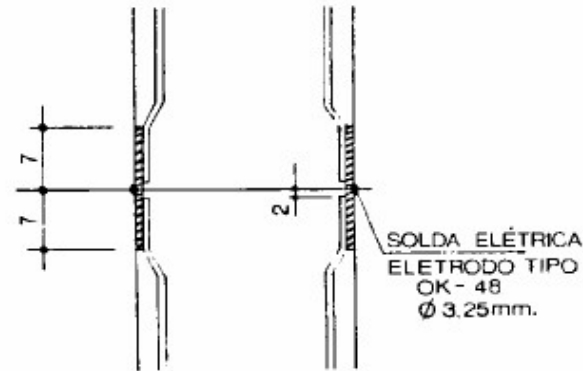
Variações: estacas seção quadrada/ estrela  
centrifugadas  
tipo de cravação

# Pré-moldada concreto

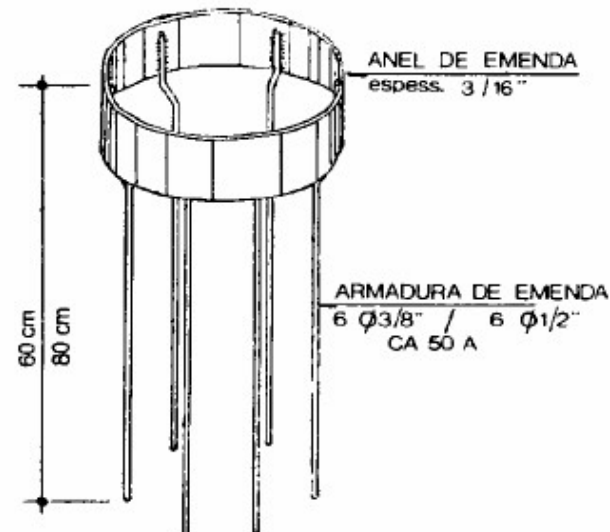
DETALHE DA ESTACA



DETALHE DA EMENDA



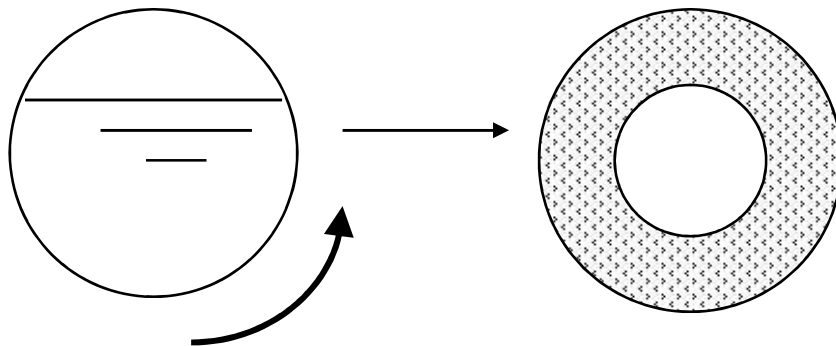
DETALHE DO ANEL





# Pré-moldada concreto armado

- Centrifugada:  
elementos leves e  
ôcos

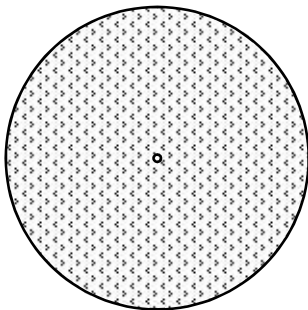


Tensão adm. concreto 100kgf/cm<sup>2</sup>

Diam (cm)	P nom (tf)
20	25
23	30
26	40
33	60
38	75
42	90
50	130
70	230 <sup>13</sup>

# Pré-moldada concreto armado

- Concreto Maciço

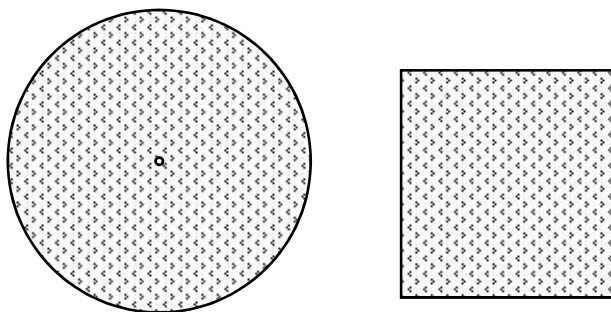


Tensão adm. concreto 50kgf/cm<sup>2</sup>

Diam (cm)	P nom (tf)
20	20
25	30
30	40
35	50
40	70

# Pré-moldada concreto armado

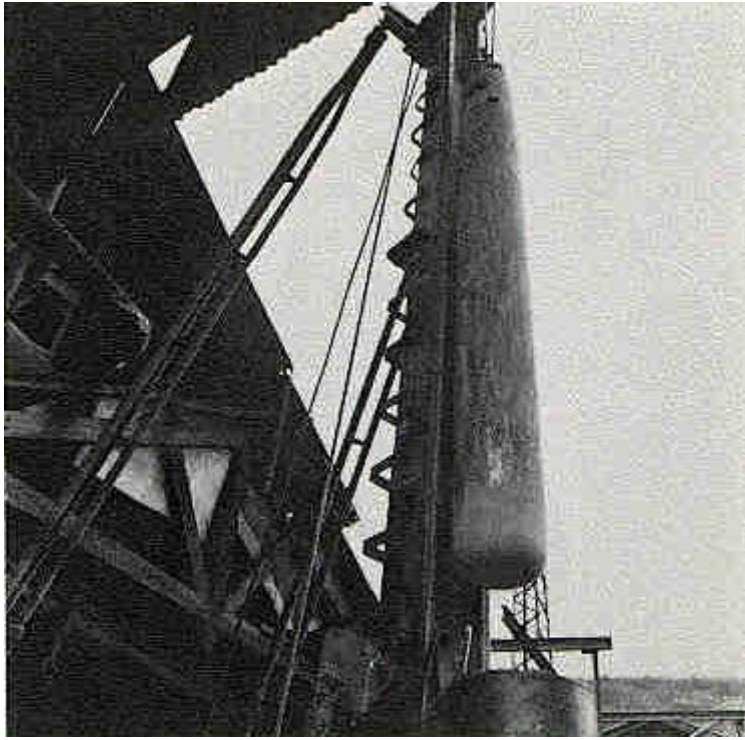
- Concreto Protendido



Tensão adm. concreto 50kgf/cm<sup>2</sup>

Seção (cm)	P nom (tf)
18x18	20
23x23	30
28x28	40
Diam. 36	50
Diam. 42	70
Diam. 50	100





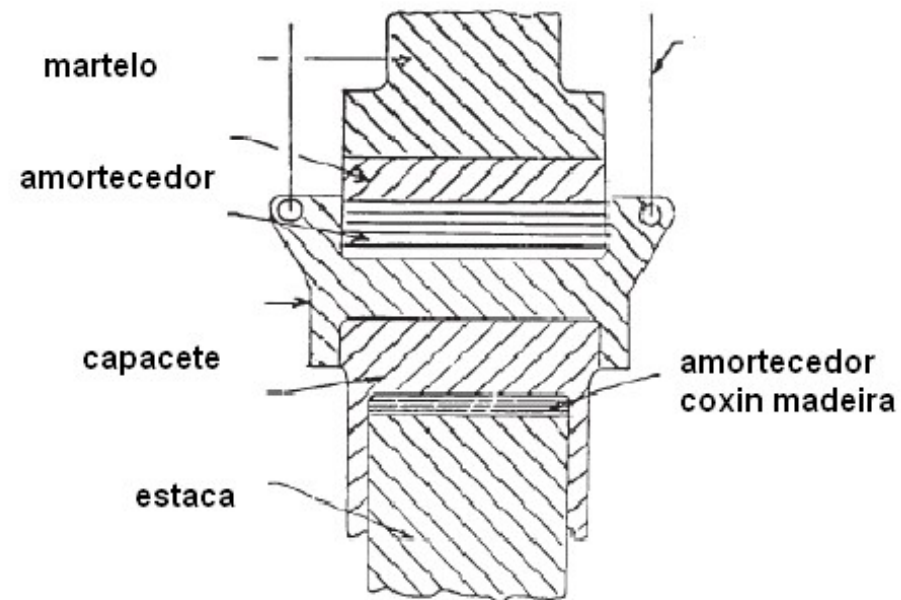
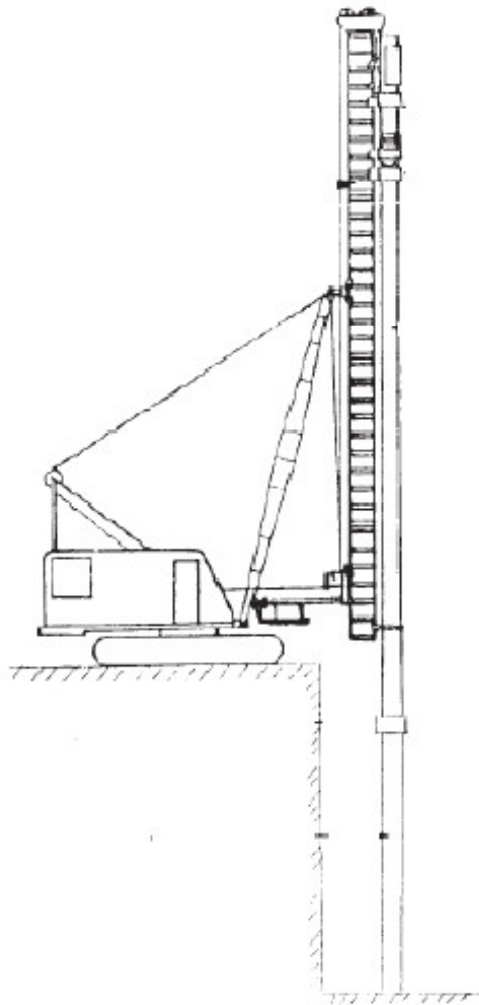




# Pré-moldada concreto armado

- Comprimentos dos segmentos: 3 a 14m
- Cravação ideal: transferência pela ponta e lateral da estaca.
- Solução mínimo custo:  $P_{adm} = P_{nom}$
- Controle de cravação através de nega: penetração da estaca nos últimos 10 golpes do martelo para uma certa energia por golpe.
- Serve para confirmar o subsolo e também uniformizar a estacaria.

# Cravação estaca

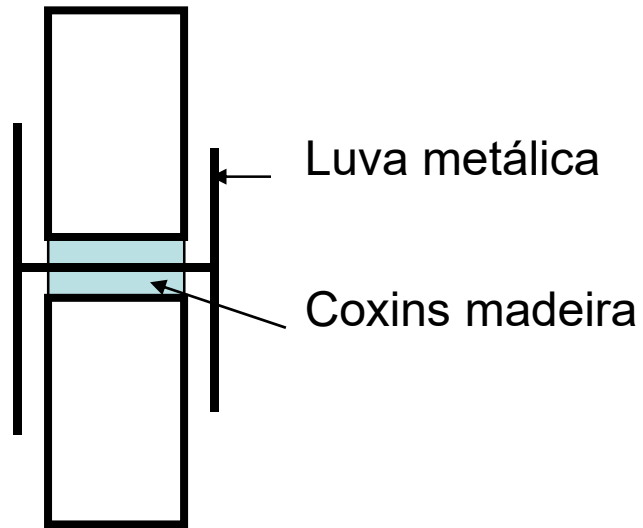




# Pré-moldada concreto armado

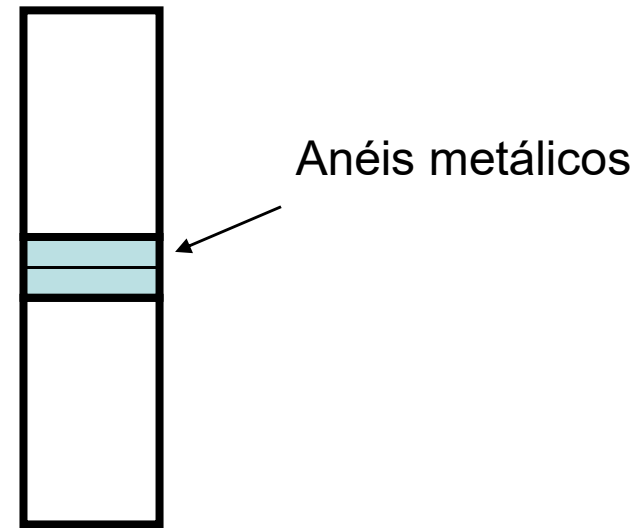
- Desvantagens:
- Dificuldade de transporte e manuseio
- Pré-fixação de comprimento: emendas e cortes
- Dificuldades de execução de cortes e emendas

# Emendas



Luvas:

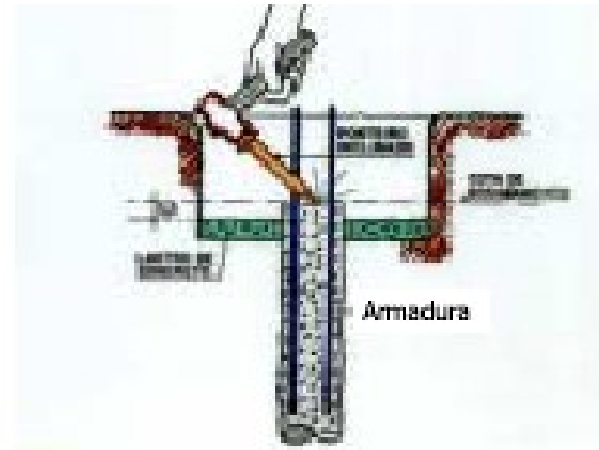
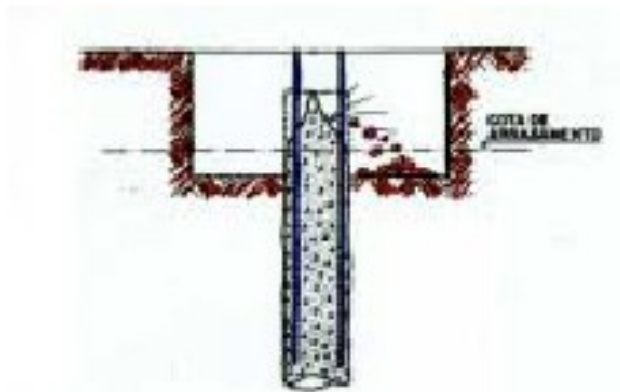
- Somente uma emenda/estaca
- L pequenos
- Só compressão



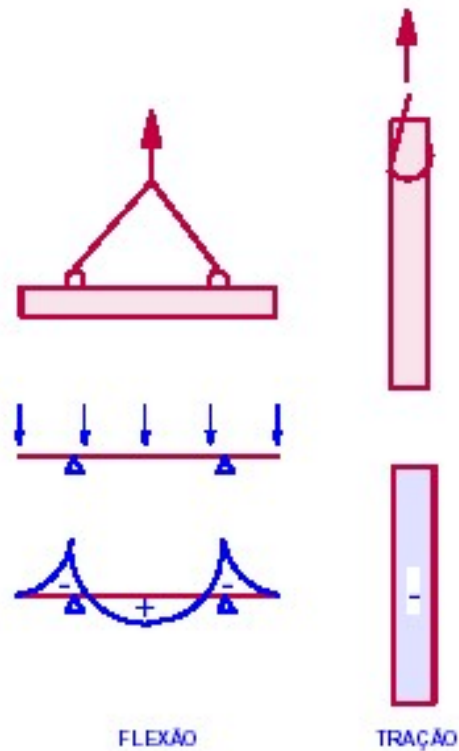
Anéis de aço com solda:

- Mais de uma por estaca
- Maiores L
- Esforços tração/flexão

# Preparo do bloco



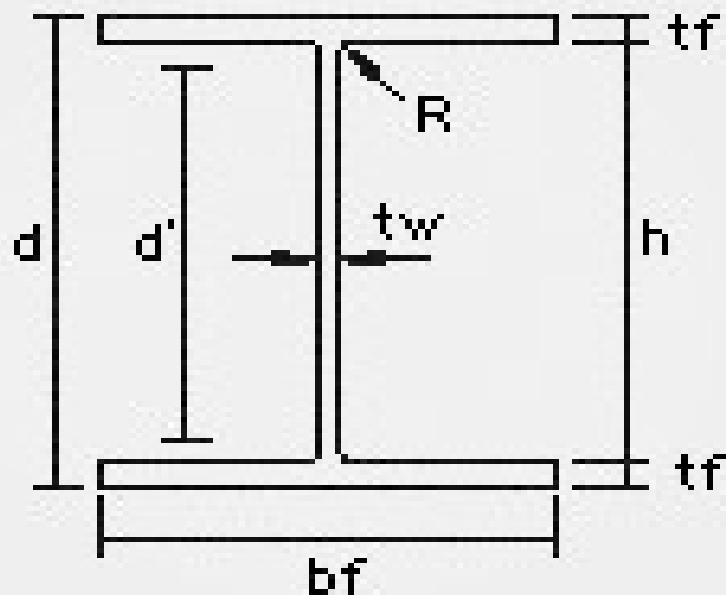
# Pré-moldadas concreto – transporte e manuseio



# Pré-moldada concreto armado

- Contra-indicações típicas
  - Terrenos muito heterogêneos
  - Presença de matacões
  - Vibrações indesejadas
  - Presença de águas agressivas ao aço (fissuras concreto)

# Estacas de aço ou metálicas



## Perfis I e H

$d$  = altura externa do perfil

$d'$  = altura livre da alma

$h$  = altura interna

$bf$  = largura da aba

$tf$  = espessura da aba

$tw$  = espessura da alma

$R$  = raio da concordância

# Estacas de aço ou metálicas

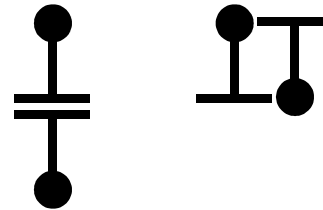
Perfil	Tipo	Dim.	Peso kgf/m	Padm Tf
Simples	H	6"x6"	37	35
	I	10"x4 <sub>5/8</sub> "	37,5	35 a 40
	I	12"x5 <sub>1/4</sub> "	60	60
Duplo	2I	10"x4 <sub>5/8</sub> "	75	70 a 80
	2I	12"x5 <sub>1/4</sub> "	120	120

# Metálicas – trilhos soldados

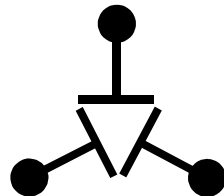
- Peso de 25 a 57kgf/m
- Um trilho:  $P_{adm}=5tf$



- Dois trilhos:  $P_{adm}=30tf$



- Três trilhos
  - 2x25: 60tf
  - 3x32: 80tf
  - 3x37: 100tf





# Metálicas

- Obs.: trilhos usados desconta-se 10% da área (desgaste)
- **Vantagens**
  - Não provocam vibração
  - Grande capacidade de carga
  - Facilidade de transporte e manuseio
  - Facilidade de cortes e emendas
  - Comprimentos elevados (80m)
  - Facilidade de cravação
  - Resistência à flexão
- **Desvantagens**
  - Custo elevado
  - Corrosão em trechos desenterrados (para o trecho enterrado sempre ok, independente do N.A. Soluções: pintura epóxi, proteção catódica ou encamisamento).

# Metálicas



Guia para cravação



açamento

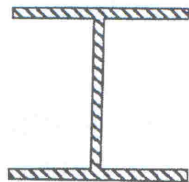


# Metálica - emenda

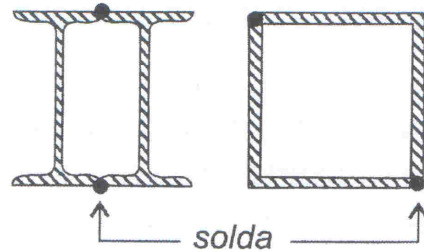


# Seção transversal perfis metálicos

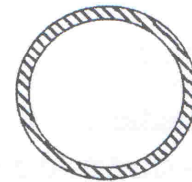
Perfil de chapa soldada



Cantoneira soldada

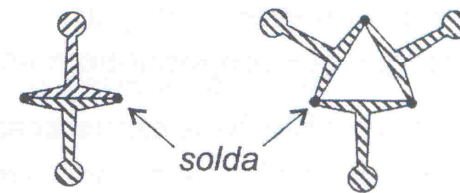


Perfil laminado soldado



Tubos

Trilhos soldados

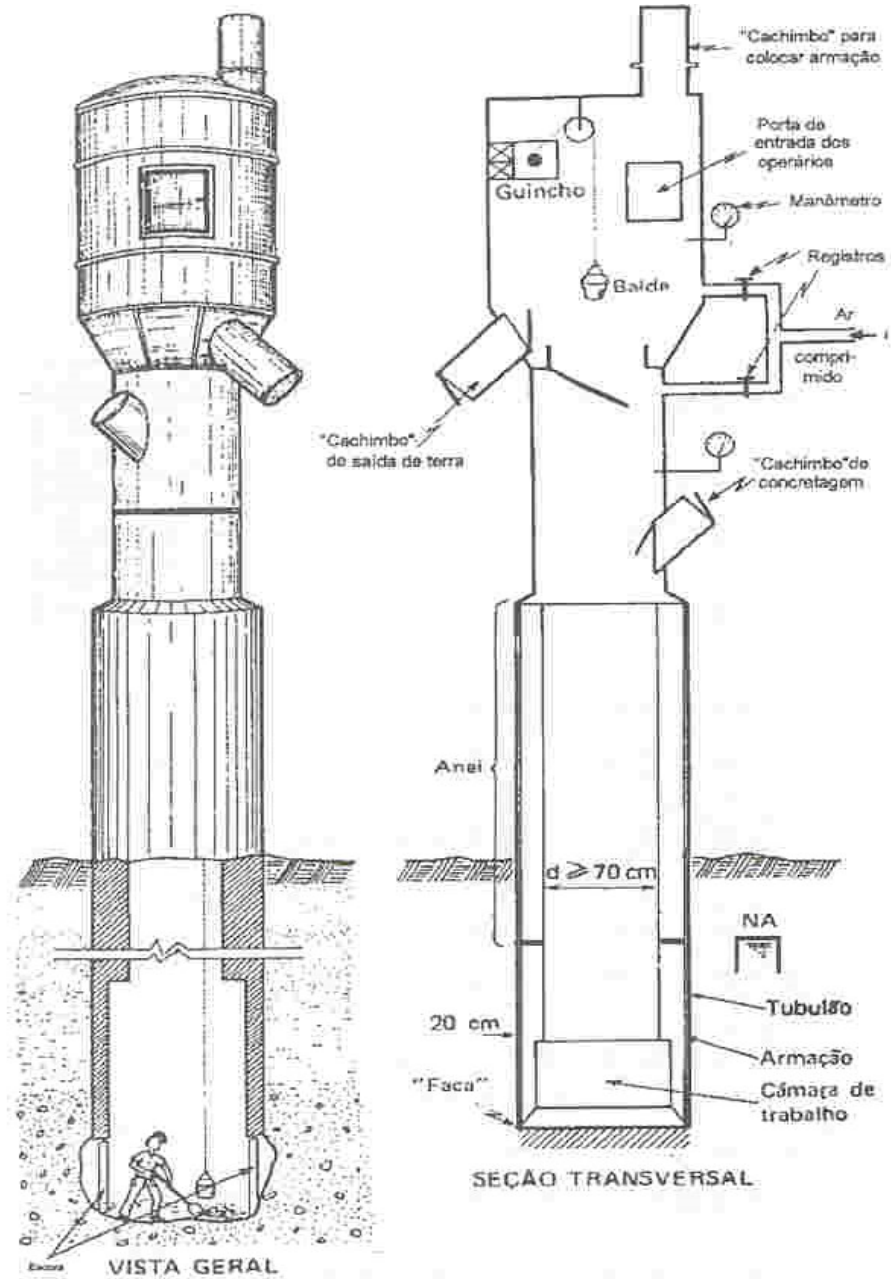


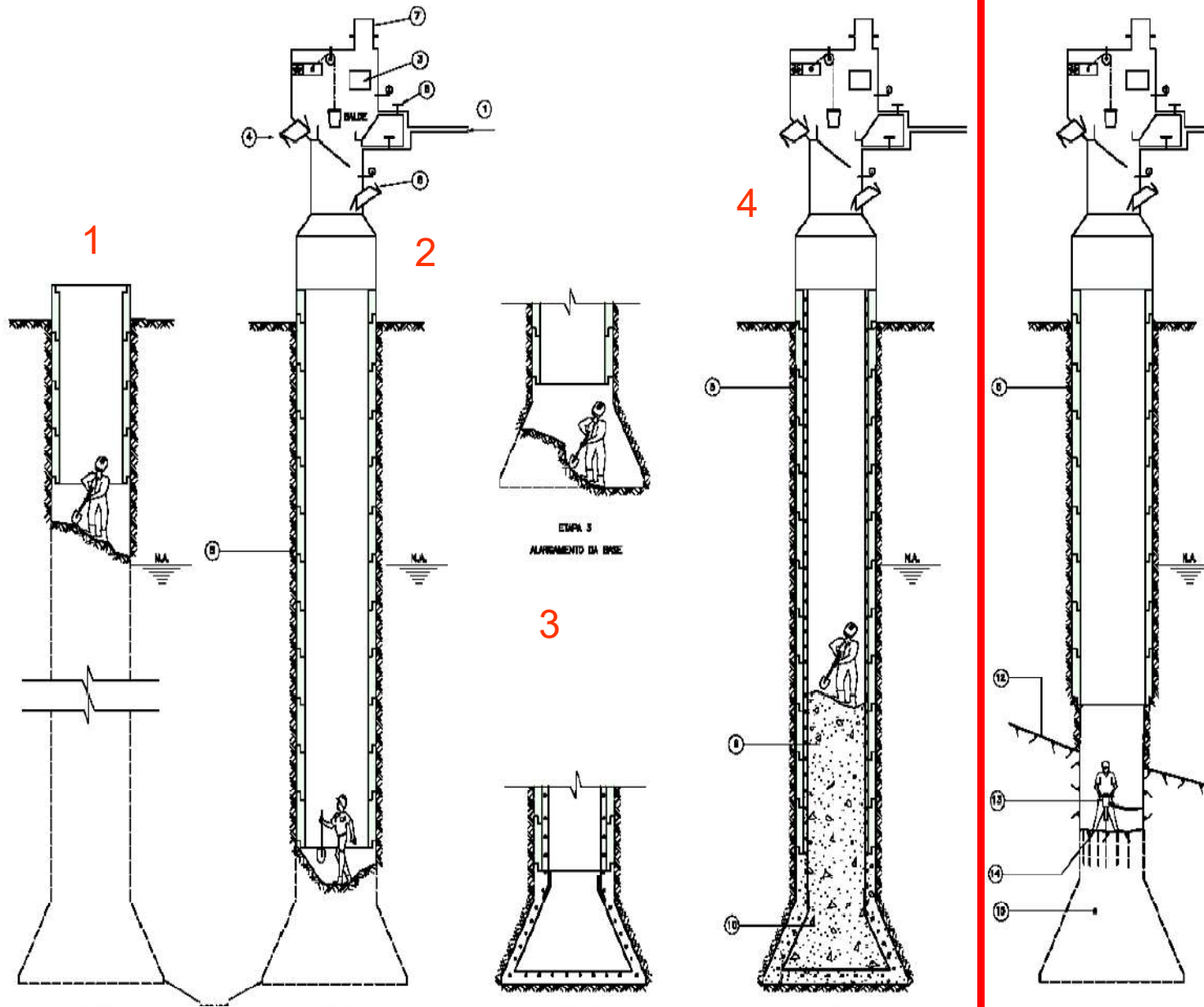


# Tubulão

(céu aberto ou ar comprimido)



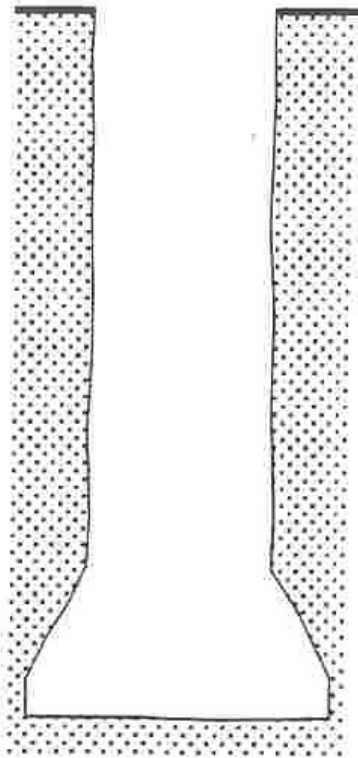




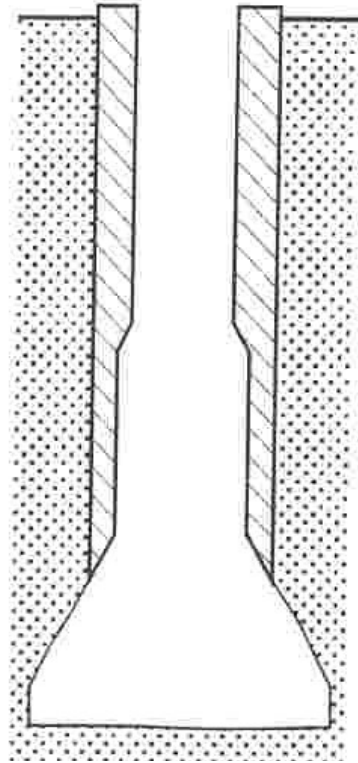
**Em solo**

**Em solo e rocha**

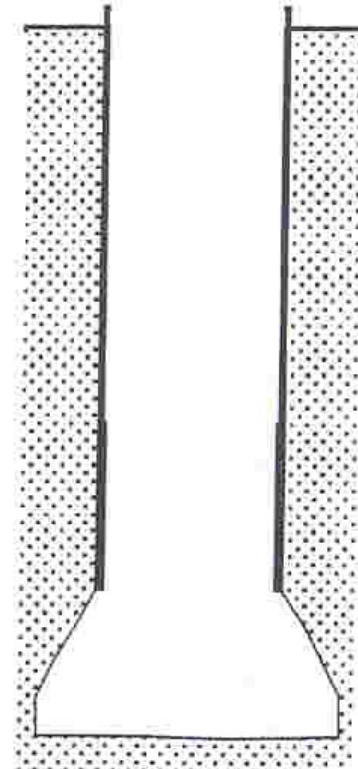




**Sem  
revestimento**



**Com  
revestimento de  
concreto**



**Com  
revestimento  
metálico**

# Estacas concreto moldadas in loco

## Brocas

- Rudimentares, escavadas sem revestimento, manualmente (trado)

Diam (cm)	Padm (tf)
25	6,0
30	8,0

# Estacas concreto moldadas in loco

## Brocas

- Vantagens
  - Facilidade construtiva
  - Custo reduzido
  - Ausência de vibração
- Desvantagens
  - Baixas cargas
  - Concreto sem controle
  - Profundidade limitada (8m)
  - Limitada a solos coesivos

# Estacas concreto moldadas in loco

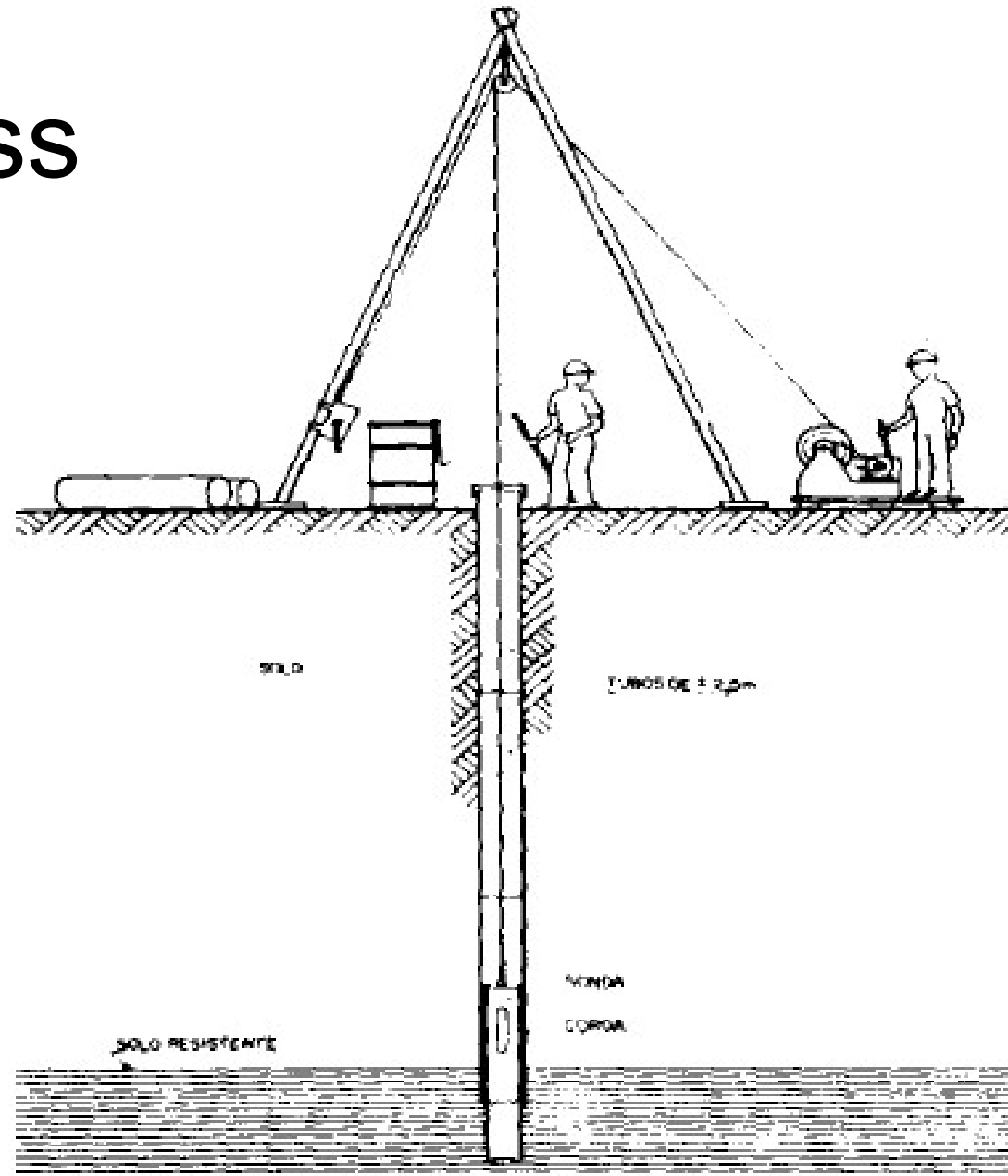
## Tipo Strauss

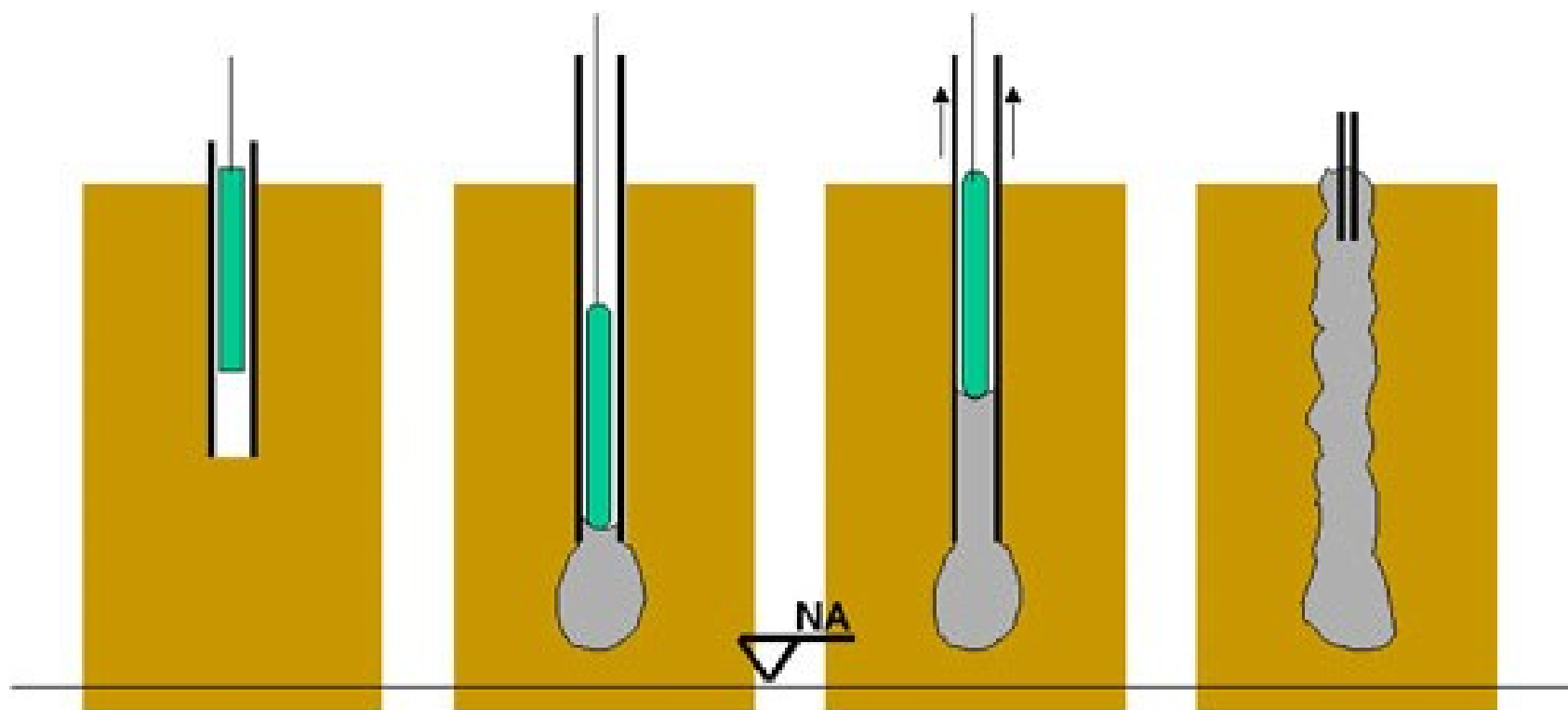
- Executada com tubo de revestimento posteriormente recuperado.
- Escava-se dentro do tubo com piteira.
- Auxílio de água para facilitar escavação.

Diam (cm)	Padm (tf)
25	20
32	30
38	40
45	60

Tensão adm. concreto  
40kgf/cm<sup>2</sup>

# Strauss





**1ª fase**  
escavação  
e cravação

**2ª fase**  
confeção  
do bulbo

**3ª fase**  
concretagem,  
adensamento  
e retirada do tubo

**4ª fase**  
colocação  
das esperas









# Estaca Franki

Variações:           camisa metálica  
                          com bulbos intermediários

# Estacas concreto moldadas in loco

## Tipo Strauss

- Vantagens
  - Pequena vibração
  - Execução em locais difícil acesso devido a ajuste do tripé
  - Profundidades variáveis (15m)
  - Superfície irregular concreto (atrato)
  - Custo reduzido.

# Estacas concreto moldadas in loco

## Tipo Strauss

- Desvantagens
  - Eventual estrangulamento do fuste com velocidade de retirada da camisa.
  - Atrito elevado camisa-concreto: concreto sobe com camisa.
  - Deslocamentos devido ao apiloamento de estacas vizinhas.
  - Concreto deve ser bem executado em águas agressivas.
  - Contra-indicações: espessas camadas de argila orgânica mole (estrangulamento), areias finas fofas, matacões.

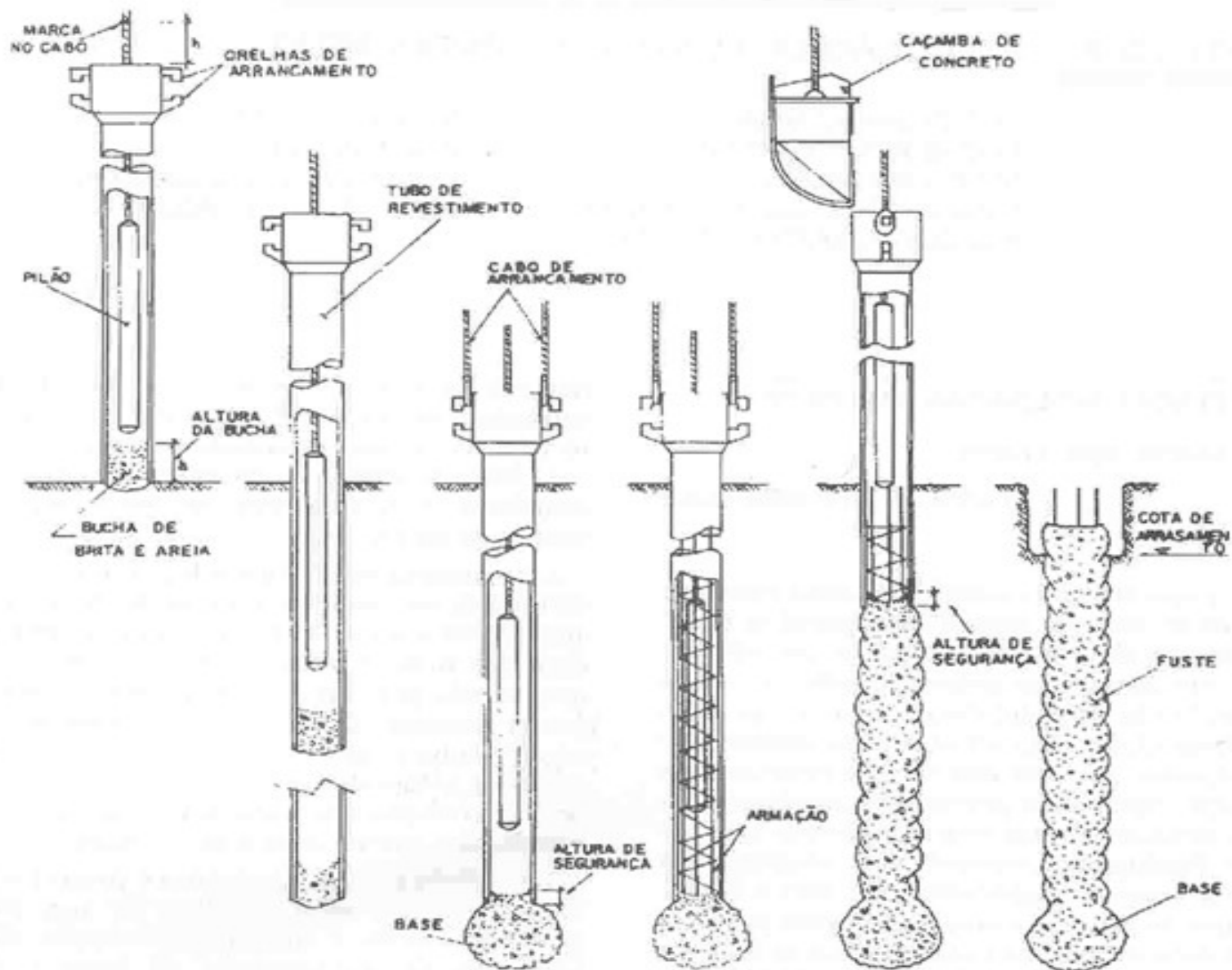
# Estaca moldada in loco - Franki

- Cravada com ponta fechada
- Bucha seca de 1m na ponta do tubo
- Base alargada

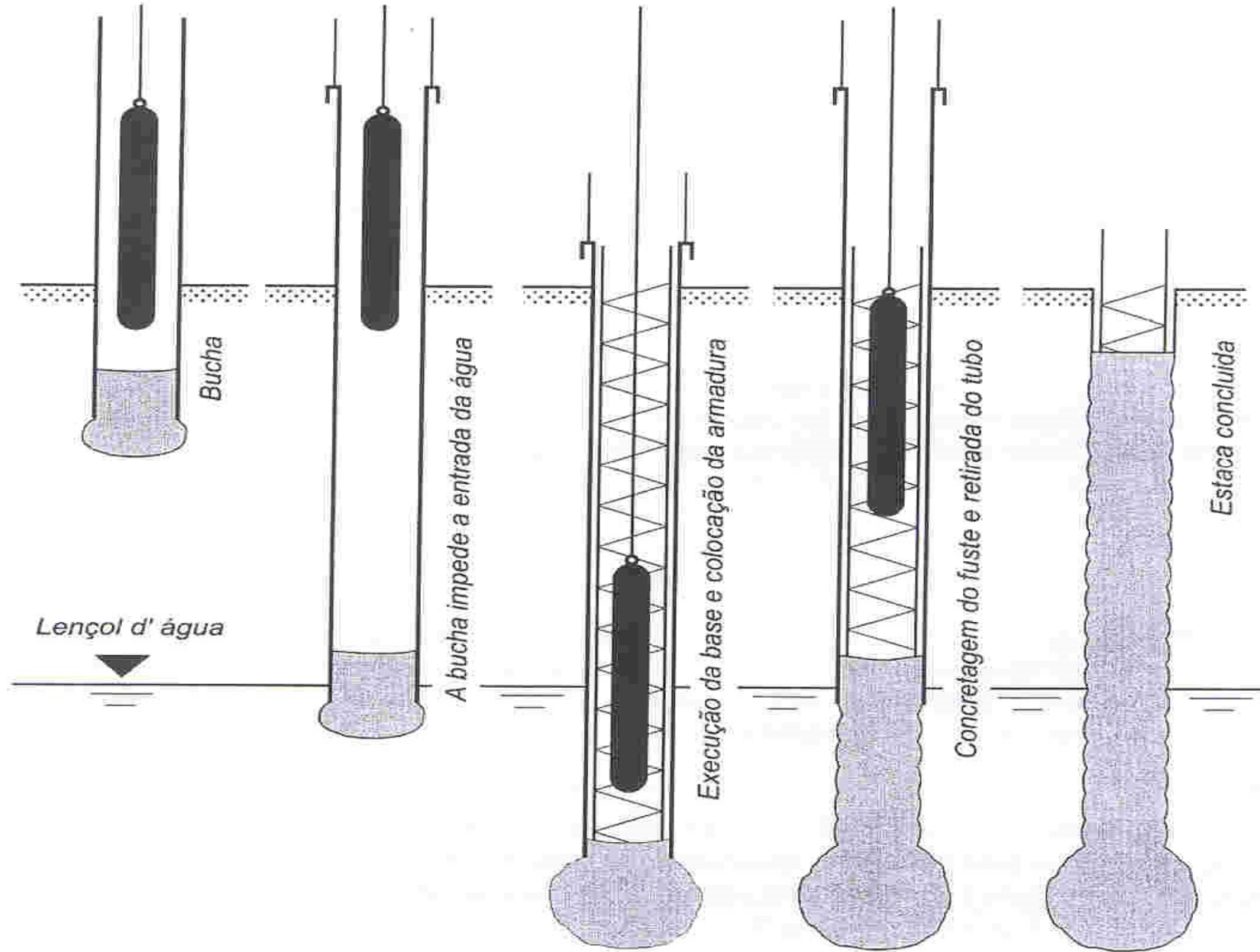
Tensão adm. concreto  
60kgf/cm<sup>2</sup>

Diam (cm)	Padm (tf)
35	55
40	70
52	130
60	170

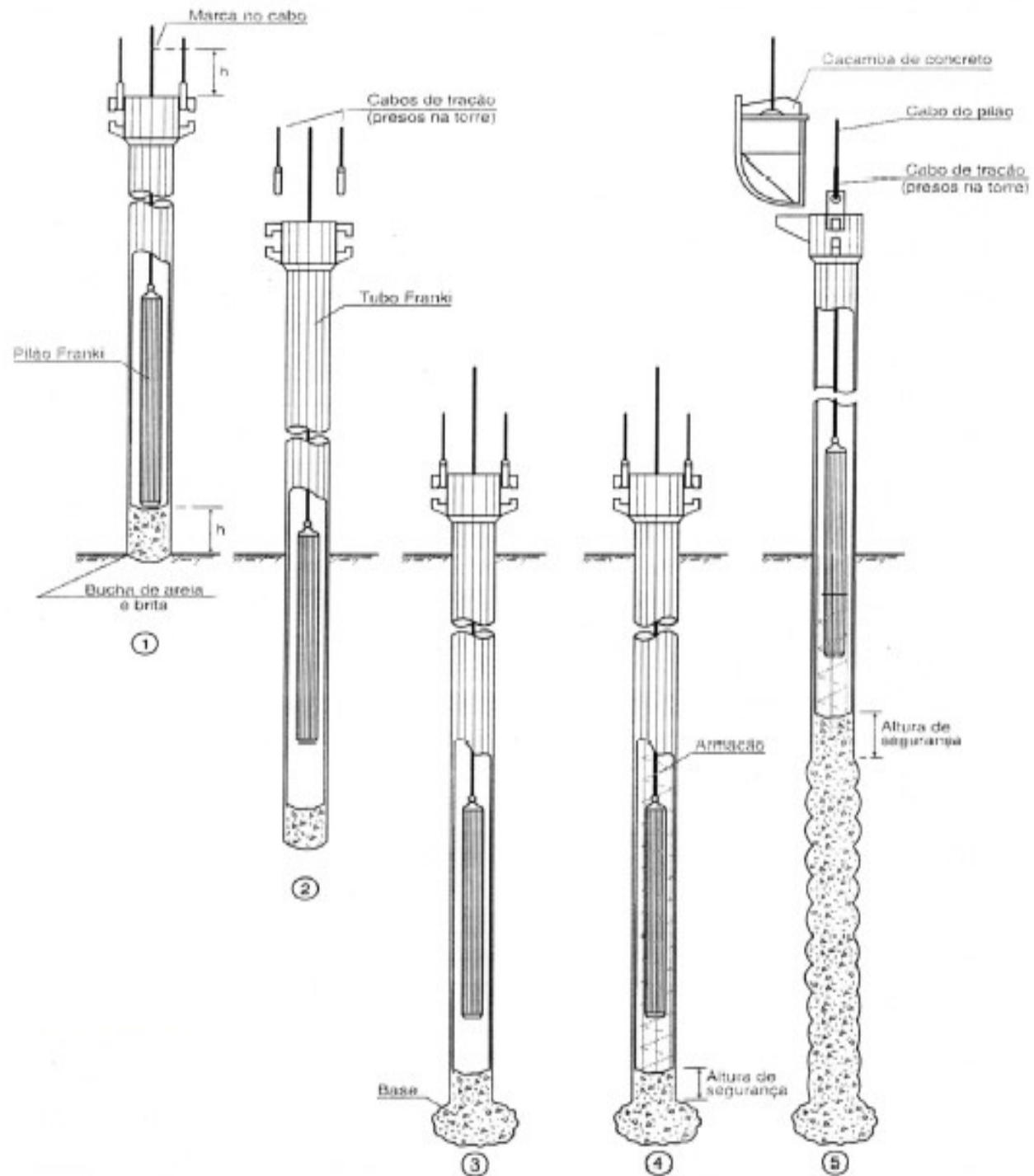
# Seqüência construtiva típica estaca Franki



# Seqüência construtiva típica estaca Franki padrão

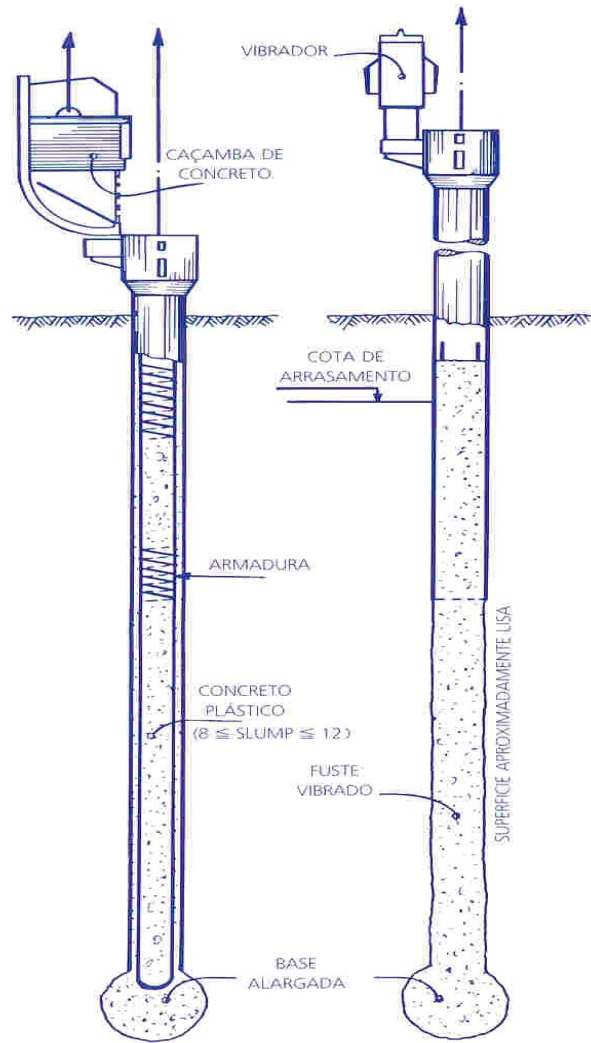


# Franki

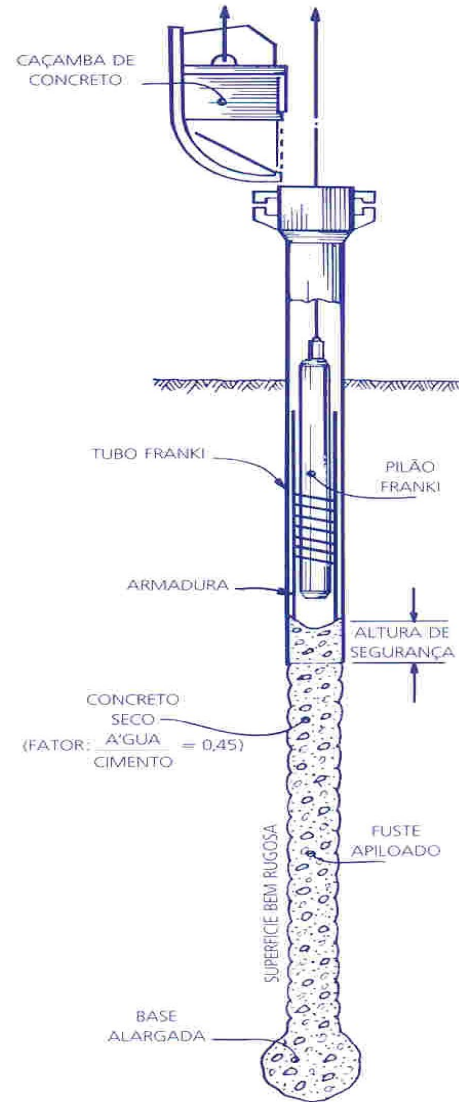


# CONCRETAGEM DO FUSTE

## VIBRADO



## APILOADO









# Franki - vantagens

- Grande capacidade de carga
- Grandes comprimentos 35m
- Sem desperdício concreto (nega)
- Grande atrito solo-estaca
- Base alargada-melhor distribuição cargas

# Franki - desvantagens

- Grande trepidação
- Estrangulamento fuste solos moles
- Empolamento em argilas rijas e duras
- Ataque de águas agressivas
- Contra-indicações: camadas espessas de solos moles ou areias finas, argilas rijas, matacões, vizinhos em más condições

# Hélice contínua

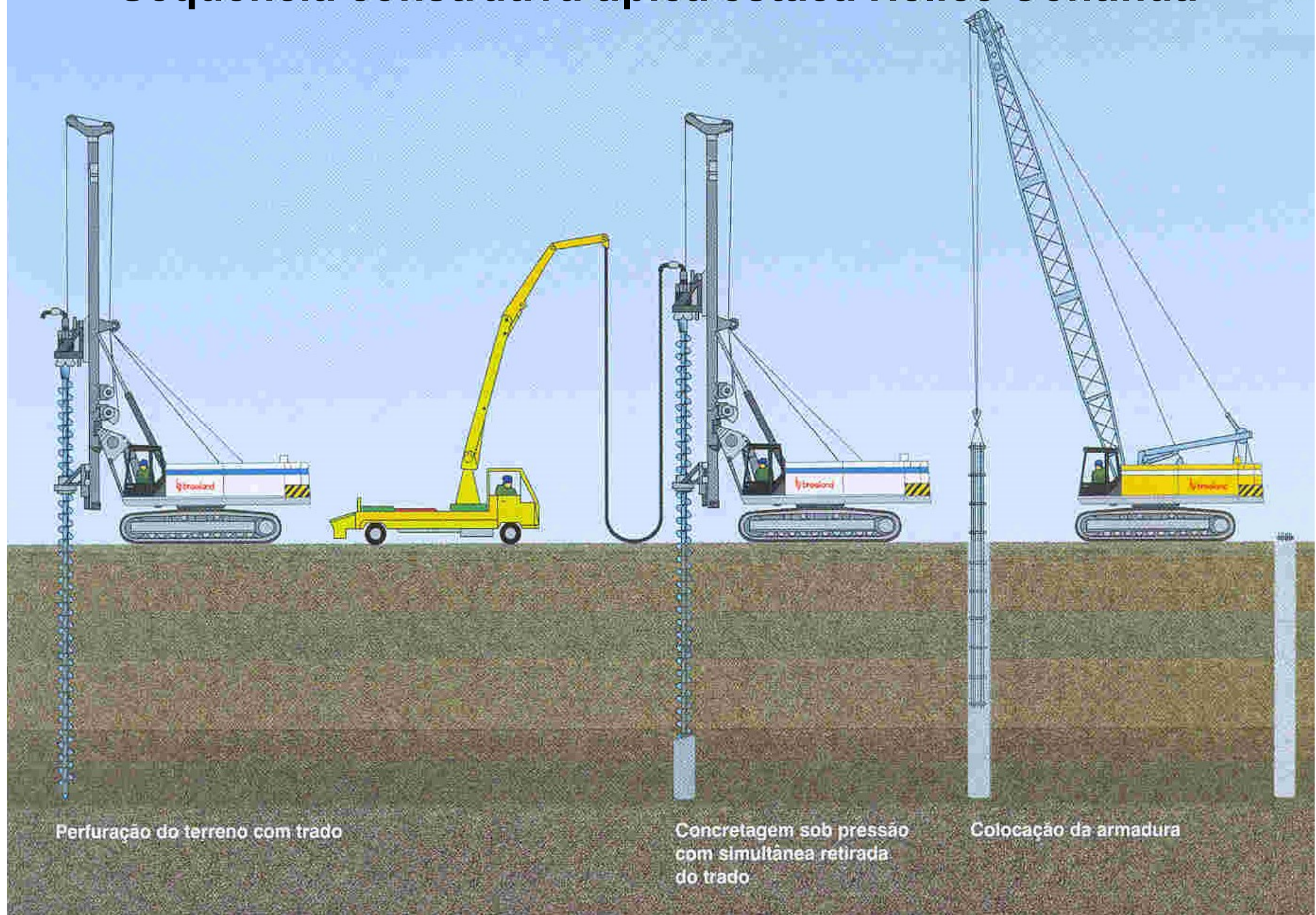
- $P_{max}=400$  tf
- Diam. max= 100cm
- $L_{max}=24$ m
- Baixo ruído e vibração
- Escavada com hélice mecânica
- Concretagem simultânea à retirada da hélice
- Limpeza da hélice
- Colocação da armadura

# Estacas Hélice Contínua





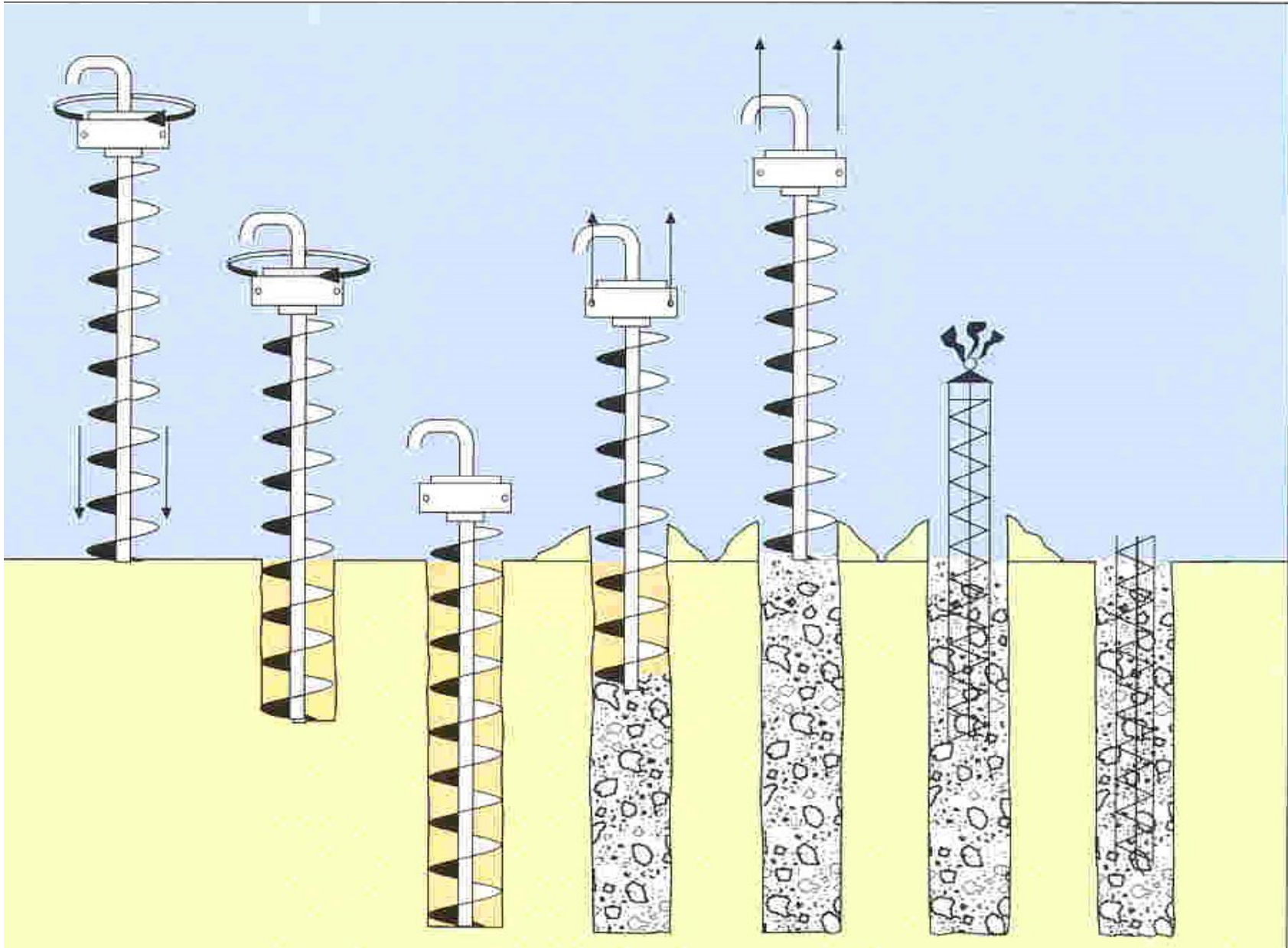
# Seqüência construtiva típica estaca Hélice Contínua



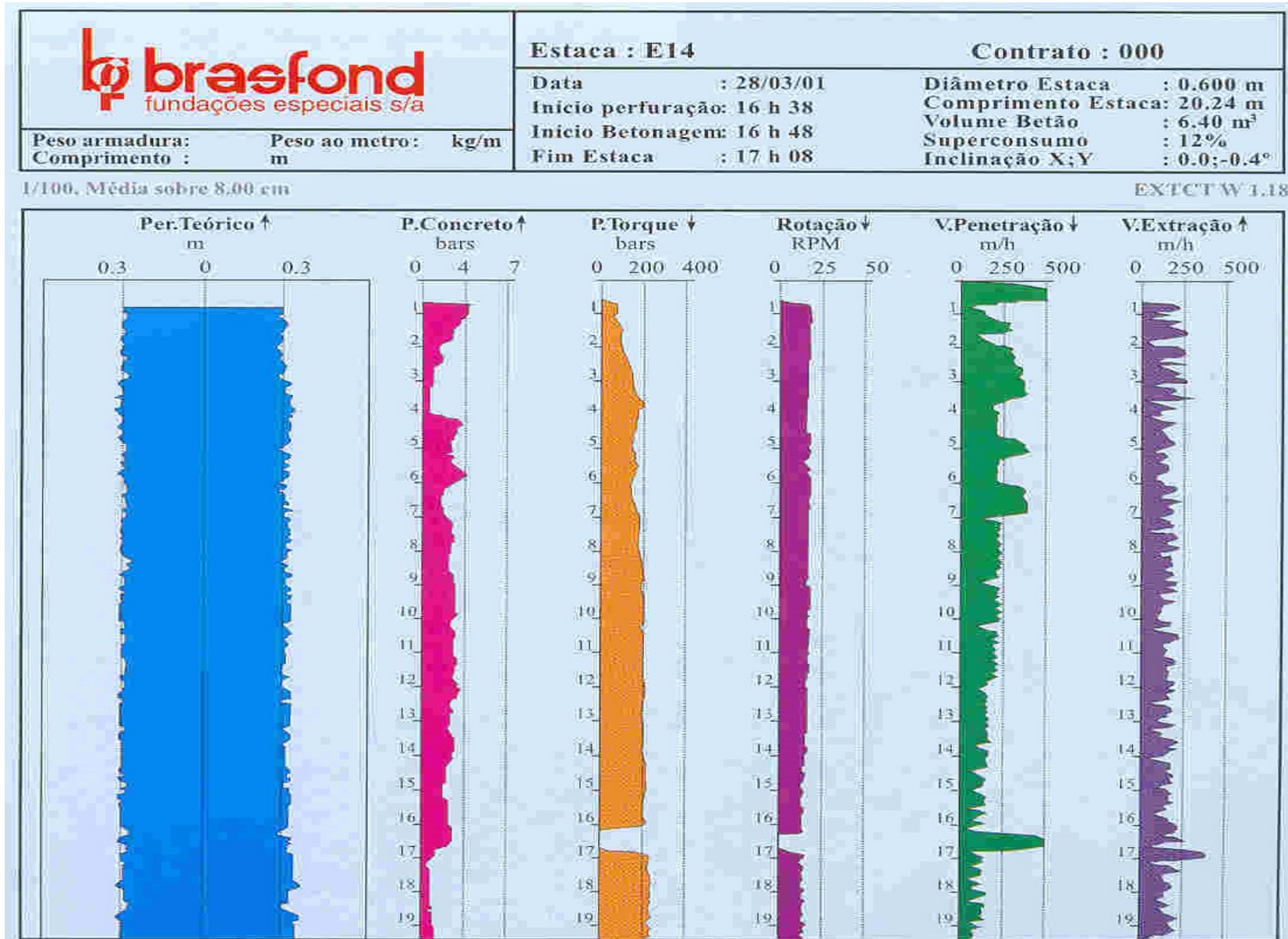






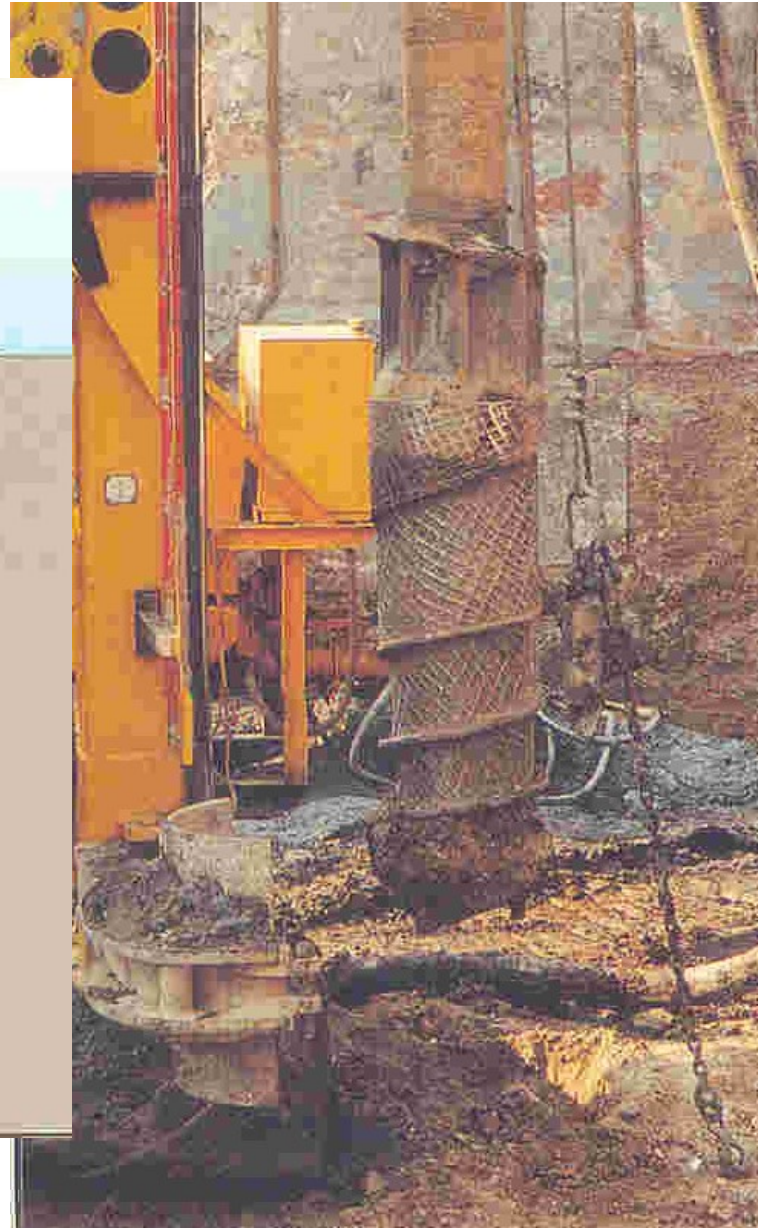
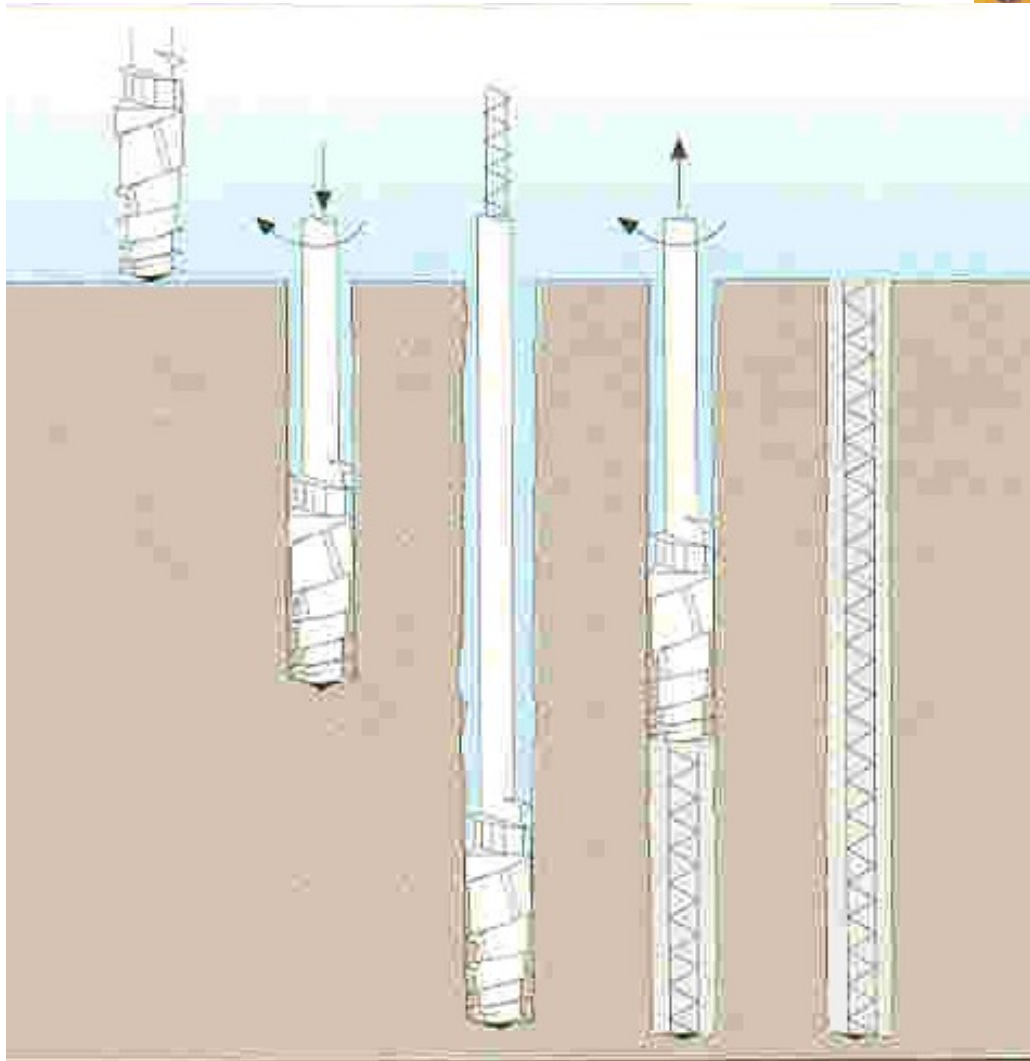


# Acompanhamento e controle durante a execução da estaca Hélice Contínua



Estaca Ômega





# Estacas escavadas com grande capacidade de carga

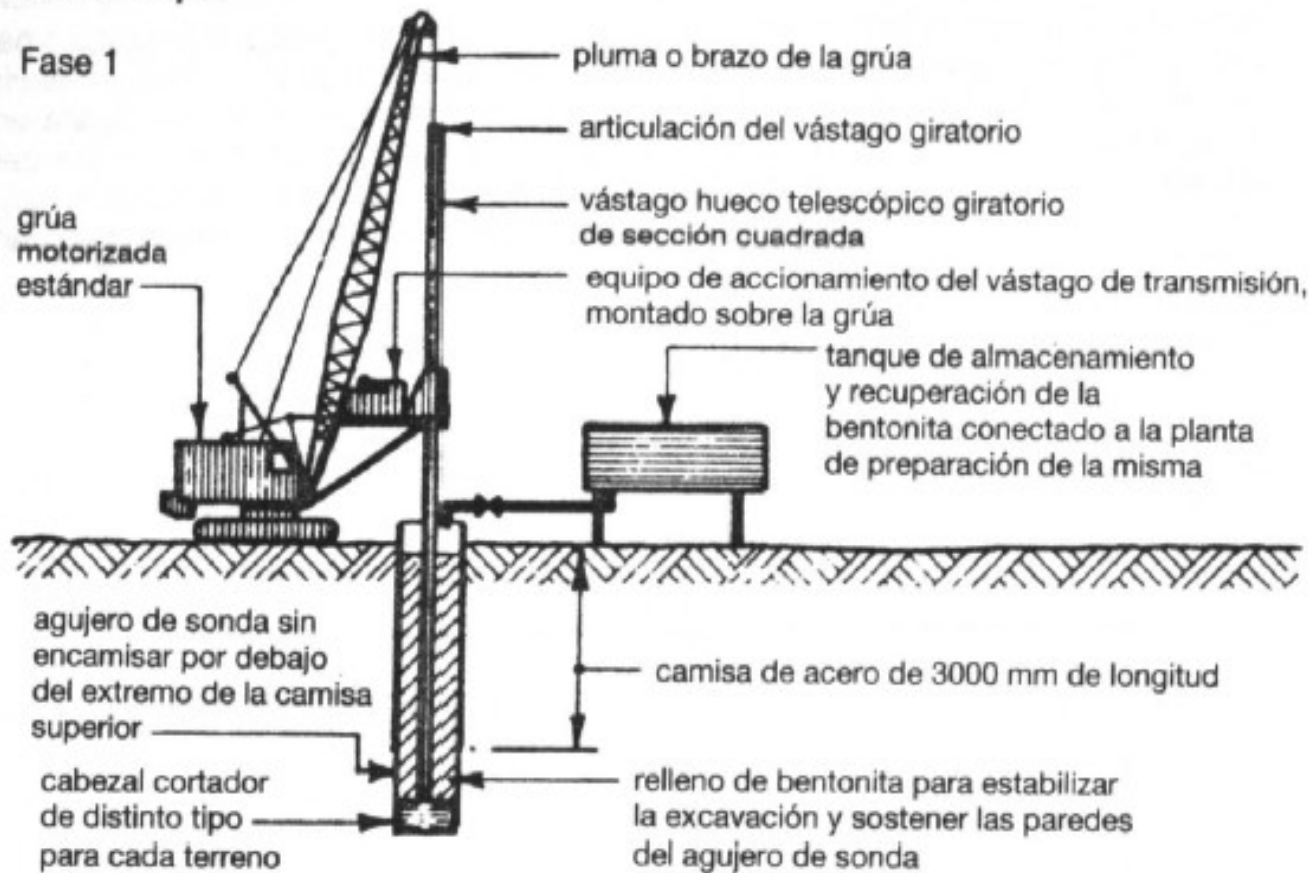
## Estação

- Cilíndricas ou grande diâmetro
- Escavação mecânica com trado helicoidal, caçamba ou perfuração com circulação de água
- Diam. de 70 até 300cm
- Camisa Metálica
- Abaixo do N.A.: lama bentonítica

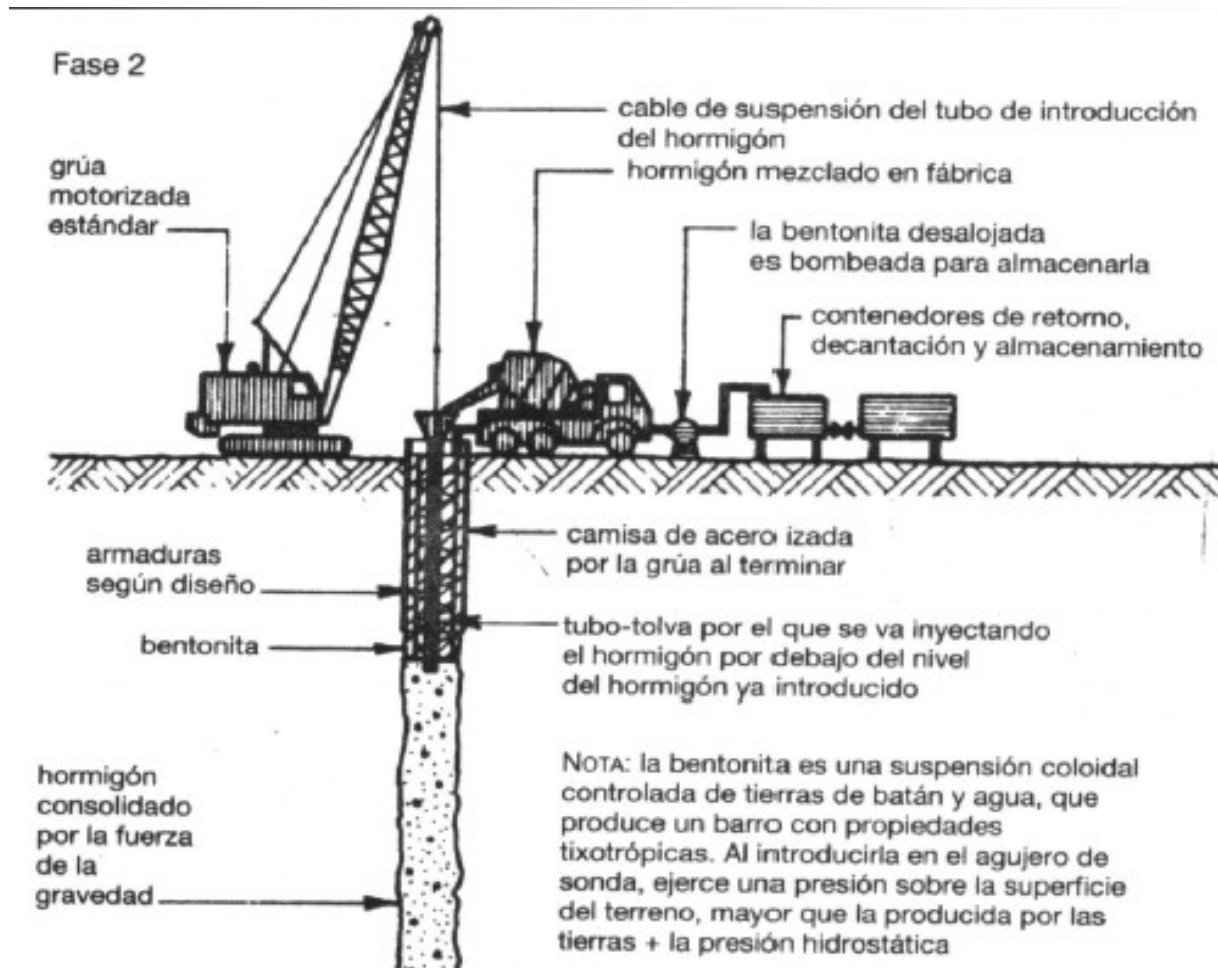
# Estacão

Detalles tipo:

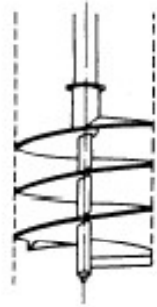
Fase 1



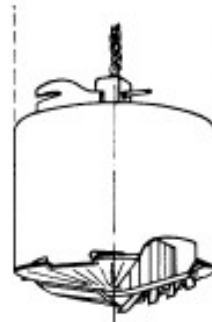
# Estacão



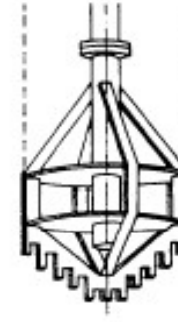
# Estacão



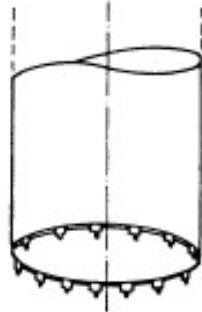
a) Trado helicoidal



b) Caçamba



c) Ferramenta cortante dentada



d) Coroa rotativa

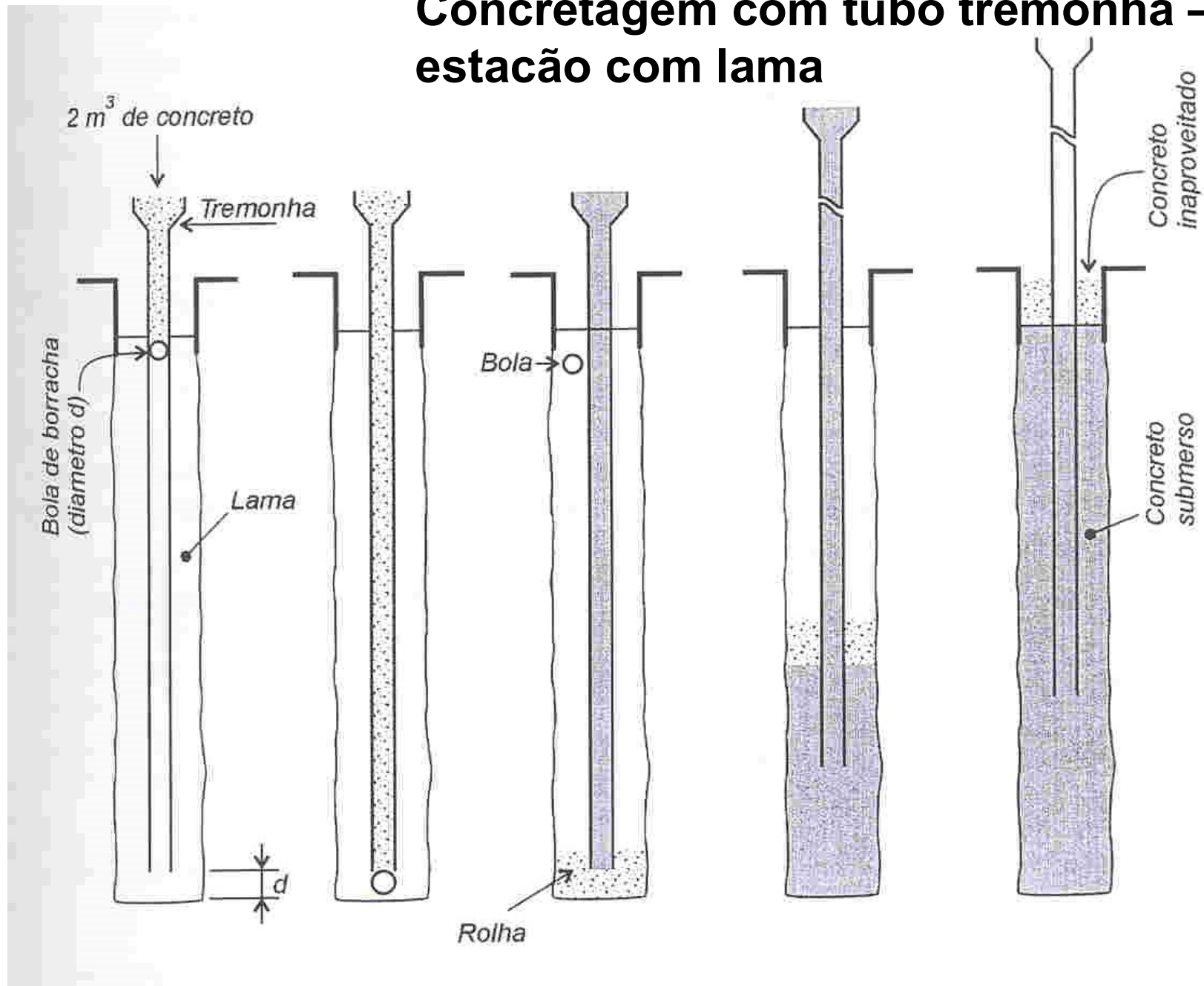


e) Martelo - piteira

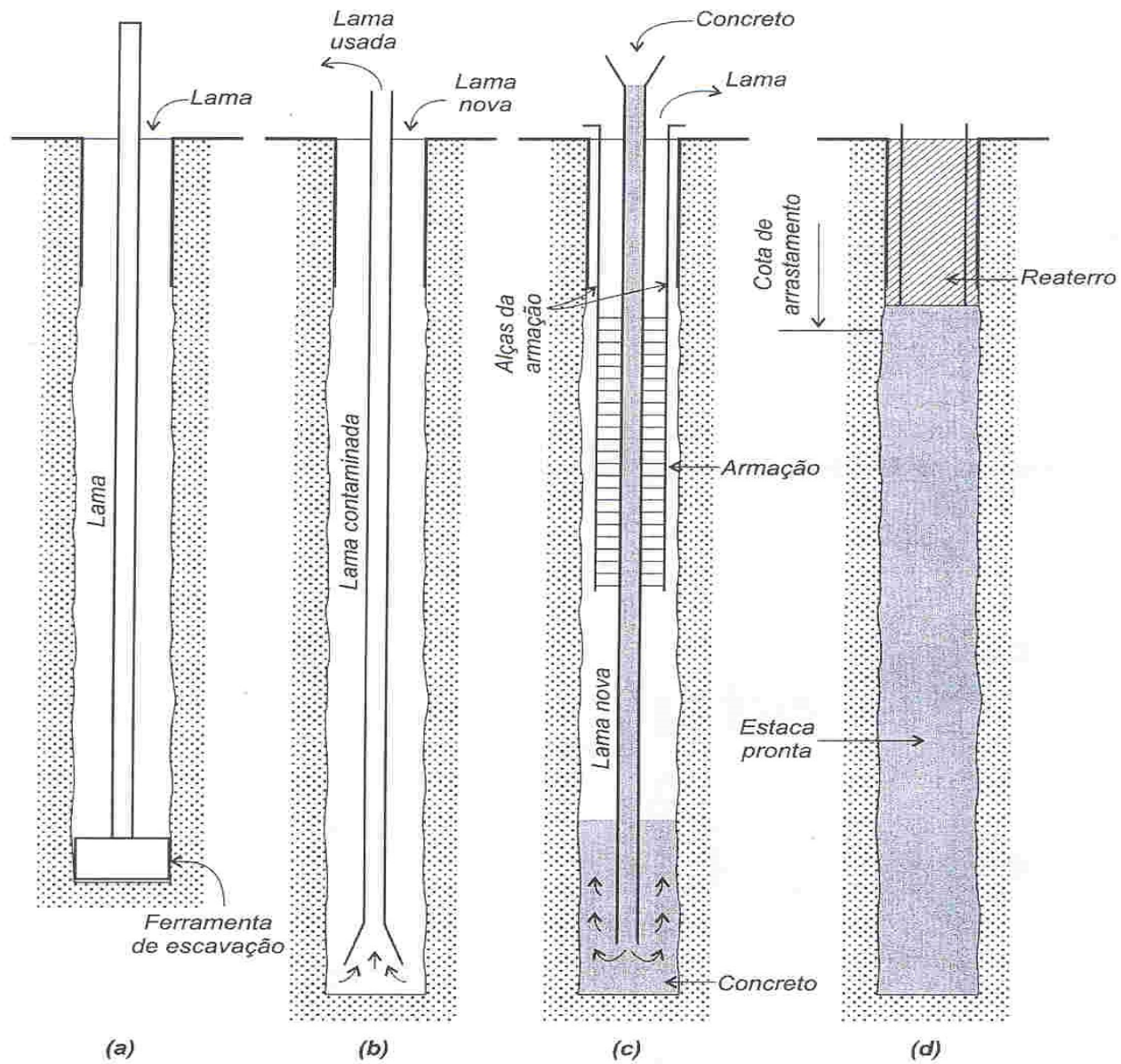
-2



# Concretagem com tubo tremonha – estação com lama



# Concretagem estacão



# Estacas escavadas - vantagens

- Grande capacidade de carga
- Possível execução abaixo do N.A.
- Grandes profundidades
- Ausência de vibrações

# Estacas escavadas - desvantagens

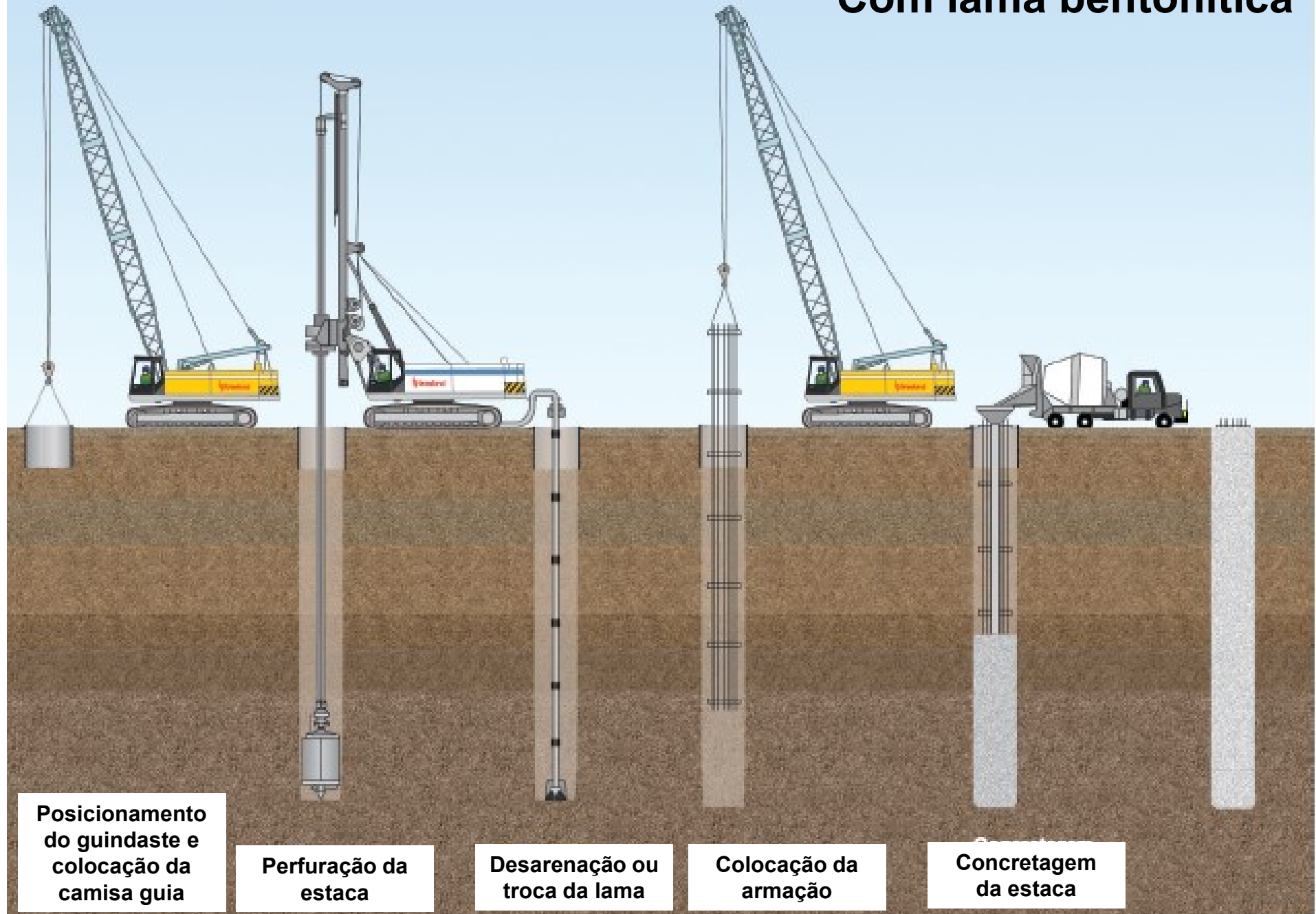
- Aderência entre armadura e concreto prejudicada quando a lama é densa.

## Concretagem de estação com camisa metálica





# Com lama bentonítica



Posicionamento do guindaste e colocação da camisa guia

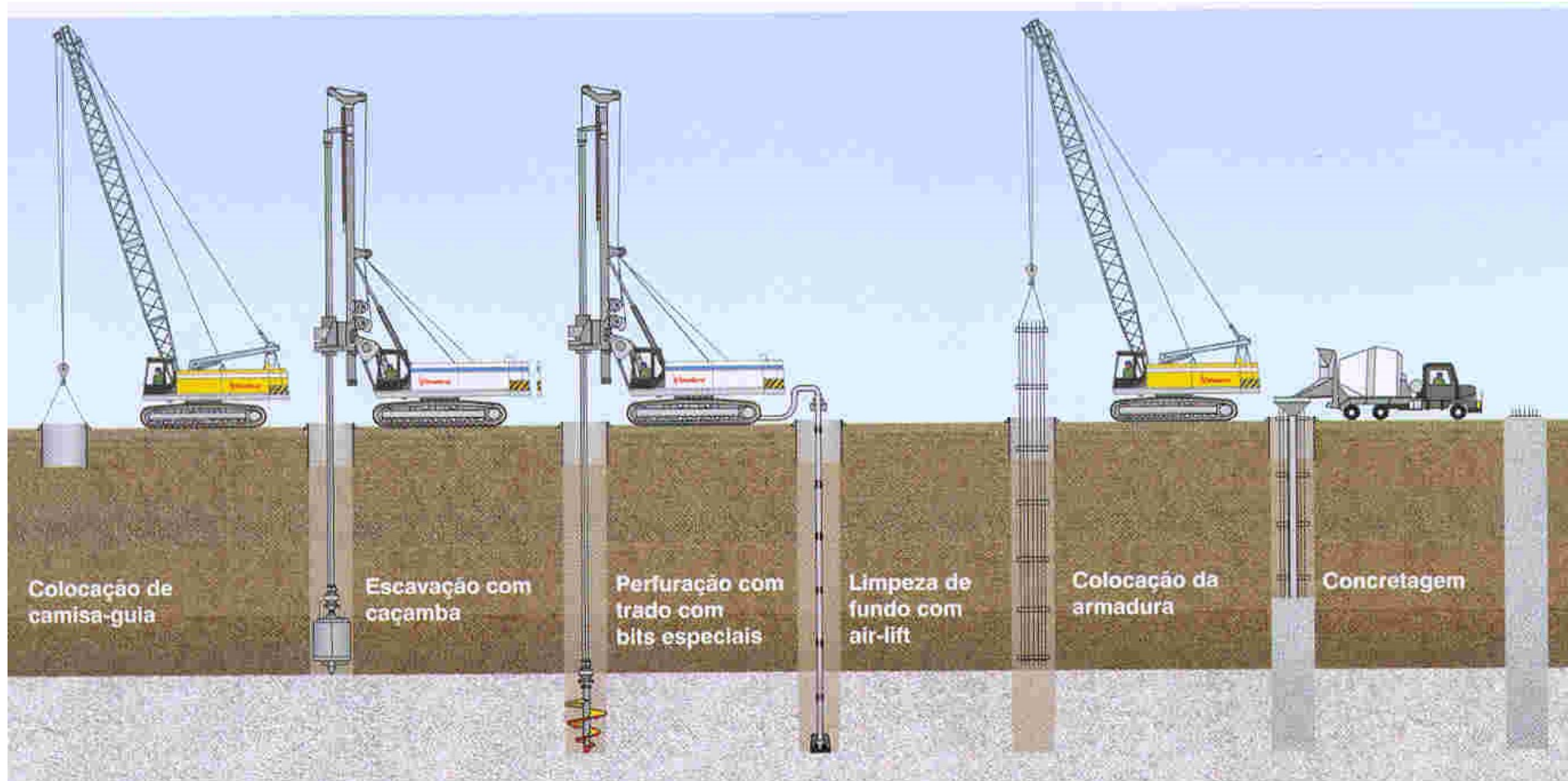
Perfuração da estaca

Desarenação ou troca da lama

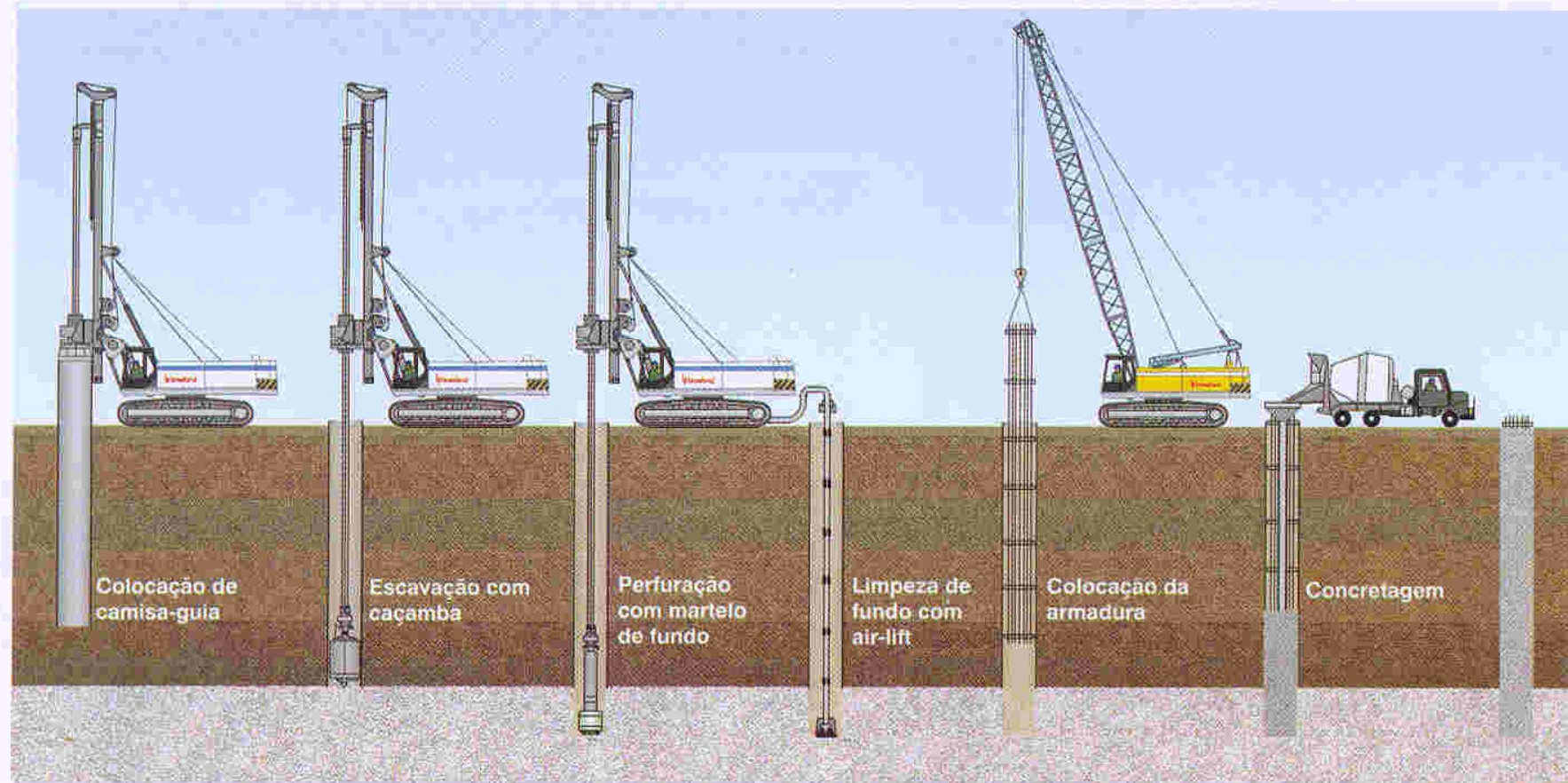
Colocação da armação

Concretagem da estaca

# Com ponta em rocha

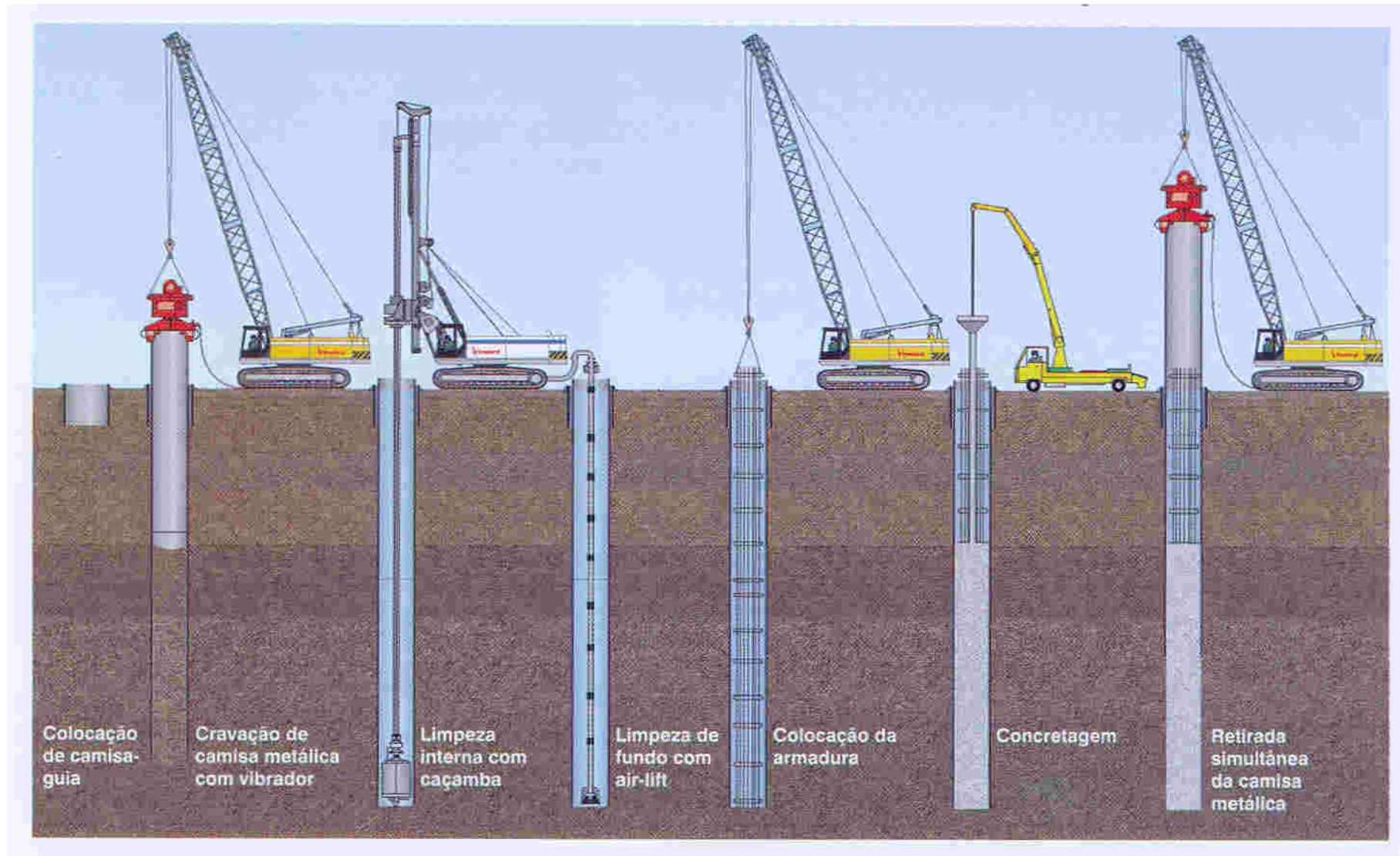


# Camisa metálica definitiva





# Camisa metálica recuperada

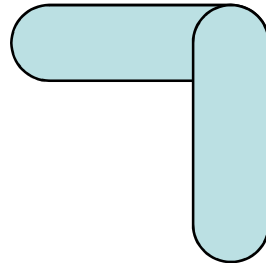
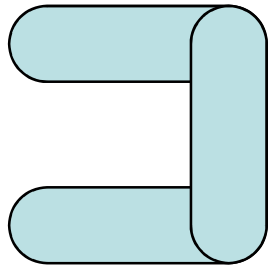


# Estacas escavadas – barrete

## Paredes Diafragma



Lamelas com espessura de 40 até 120cm  
Usual de 60 a 80cm  
Largura máxima de 400cm.



Parede diafragma

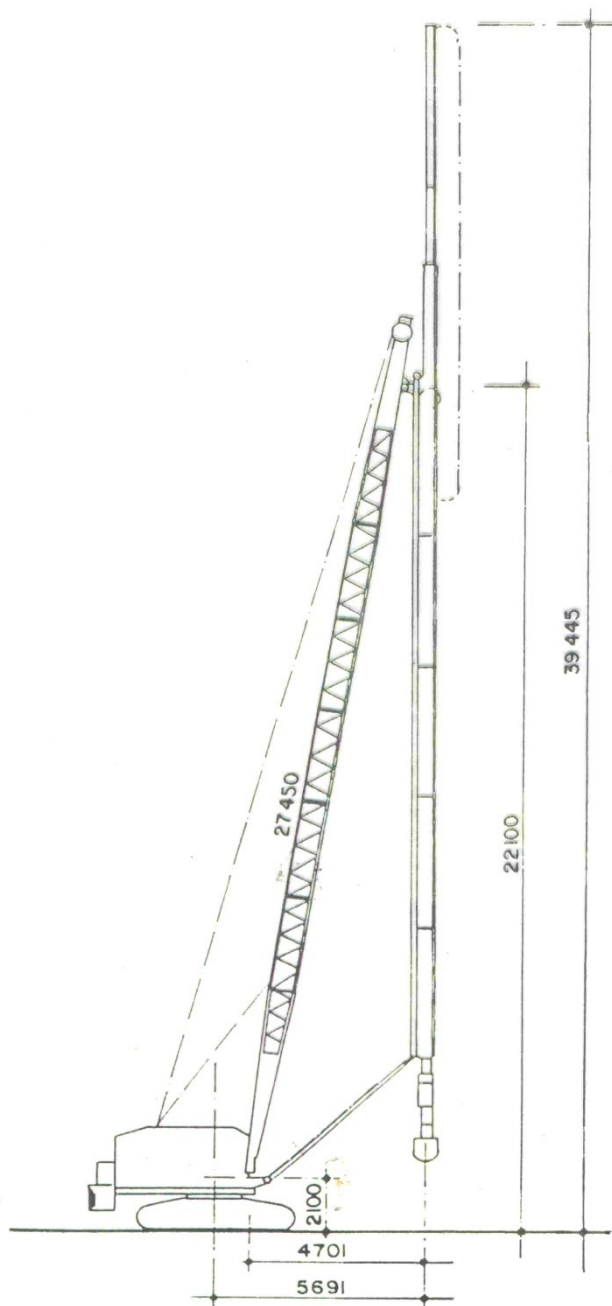
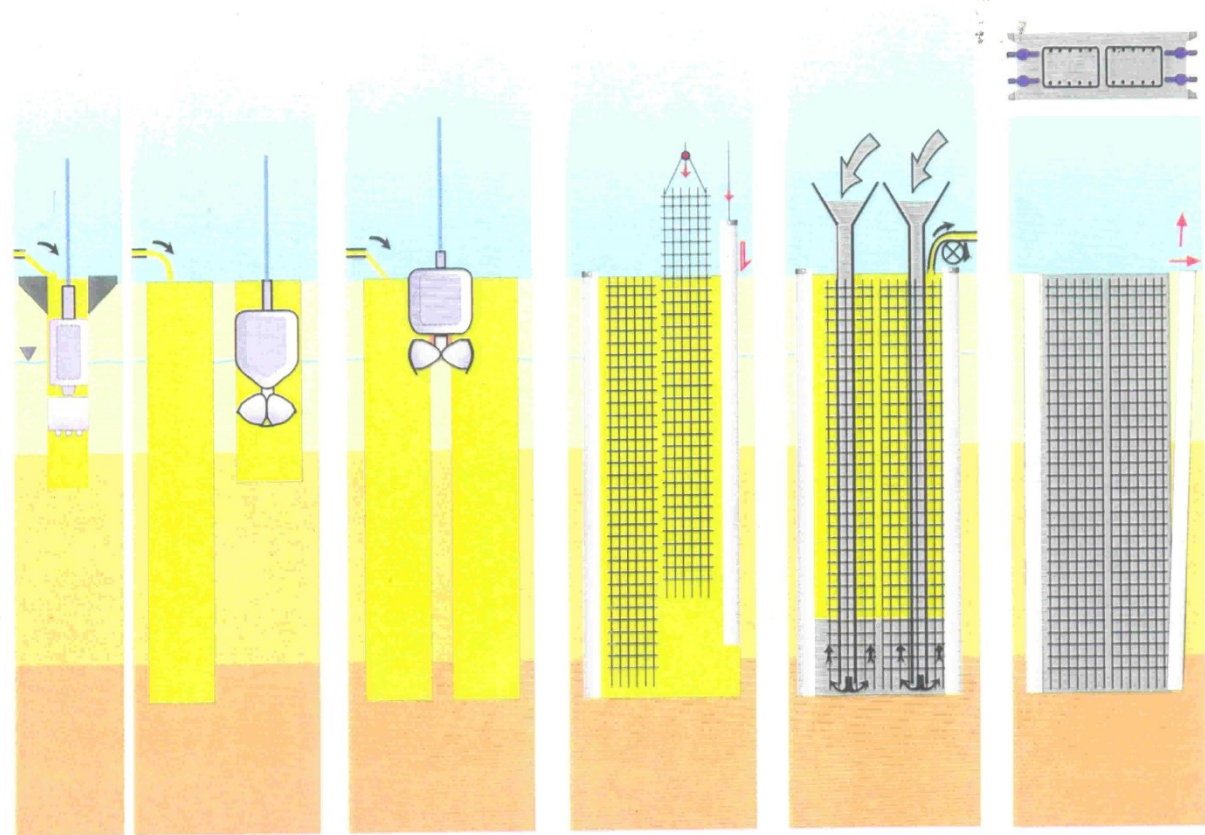


FIG. 27



- 0 réalisation des murets guides
- 1 excavation des passes primaires
- 2 excavation du merlon entre deux ouvertures
- 3 équipement d'un panneau : armature, tulie joint
- 4 bétonnage
- 5 extraction du tube joint, détail joints double waterstop

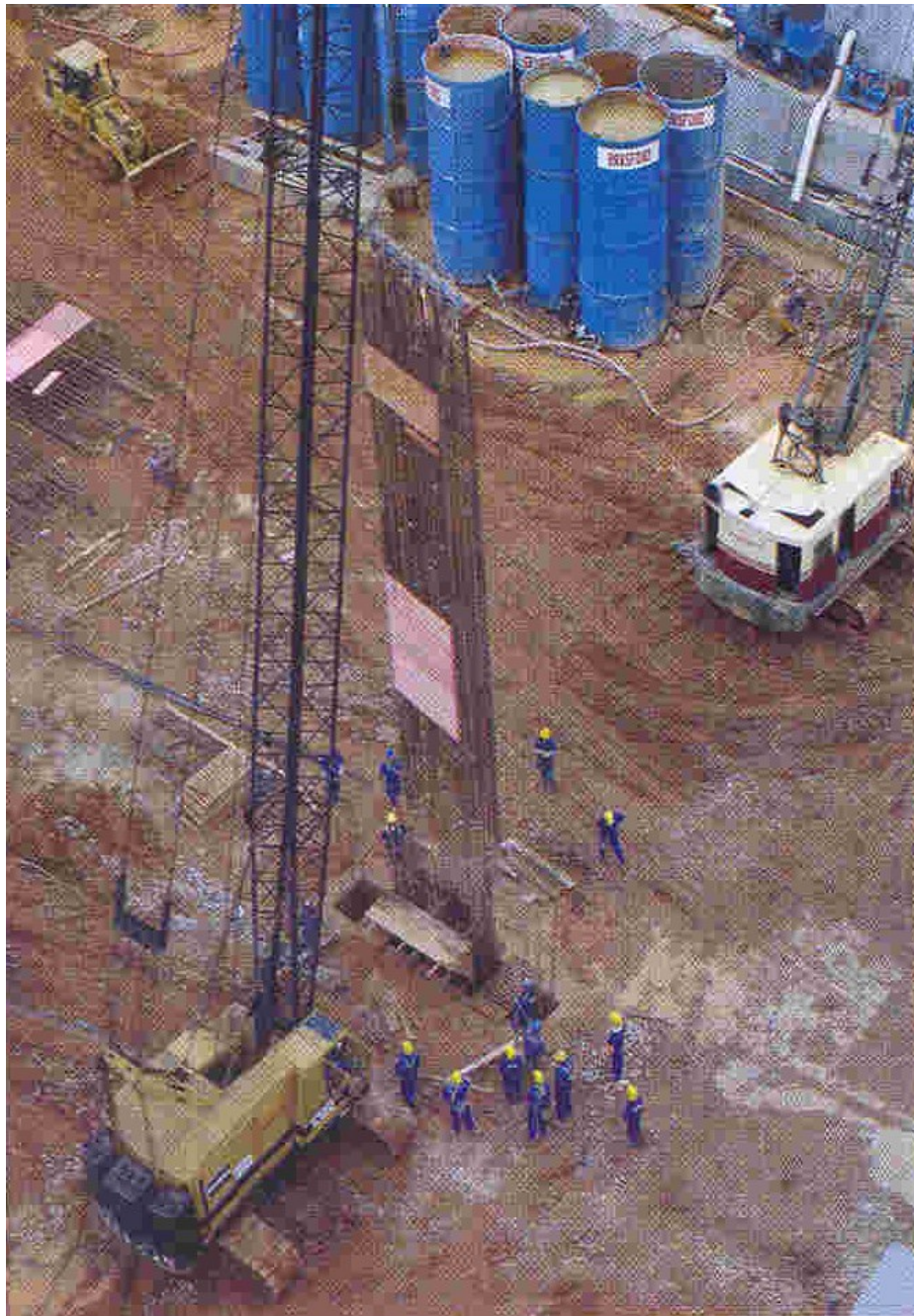
# Estacas escavadas - barrete

- Vantagens: mesmo que escavadas, além de dispensar blocos de coroamento e também absorve grandes momentos fletores.









Metrô Linha 2 Estação Klabin - São Paulo / SP



Estaca Barrete de 7,00 x 1,00 x 48,00 m de profundidade (funcionando também como pilar) - Metrô Linha 2 Estação Klabin - São Paulo / SP

# Estaca raiz / Estacas escavadas injetadas

Variações:            micro estaca

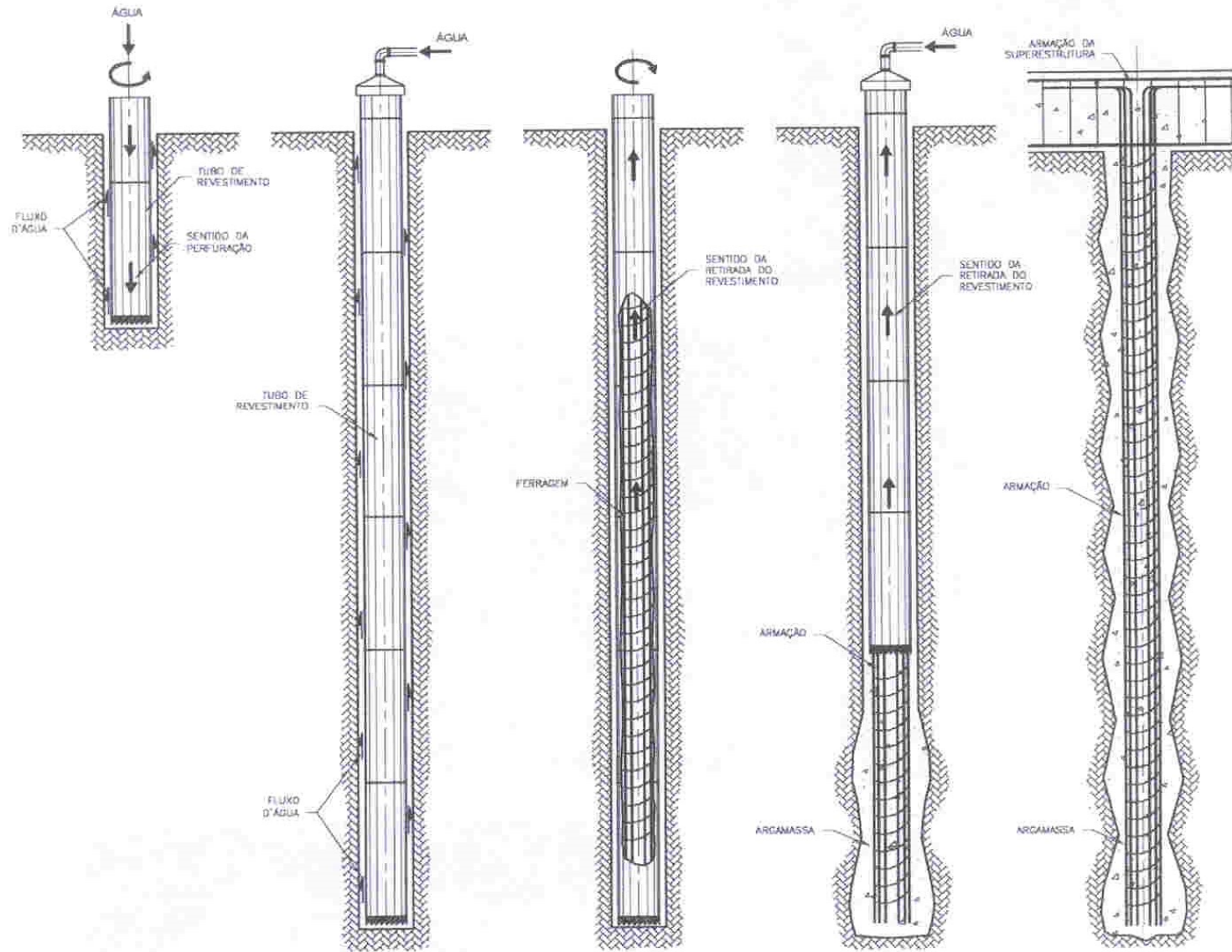
# Estaca raiz

- Injeção de calda de cimento ou argamassa a grandes pressões (40 a 50 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Melhora o terreno natural
- Reforço de fundações

Diam (cm)	Pnom (tf)
10	10
12	15
14	20
15	25
20	50
25	70
31	100
40	130



# Seqüência típica de execução de estacas raiz



## 1ª FASE

Perfuração rotativa com lavagem utilizando sistema de estabilização das paredes do furo por revestimento.

## 2ª FASE

Instalação da armação da estaca no interior do revestimento.

## 3ª FASE

Instalação da armação.

## 4ª FASE

Injeção da argamassa de baixo para cima com retirada simultânea do revestimento, caso tenha sido utilizado. Injeção de argamassa com pressão de até 7 atm, conforme projeto.

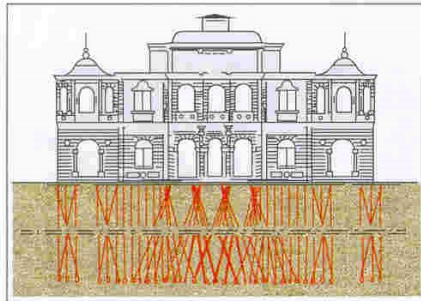
## 5ª FASE

Ligação da estaca com a superestrutura.

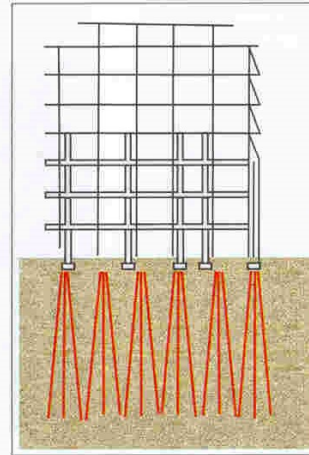
## Perfuração de estaca raiz com martelo de fundo (ponta em rocha)



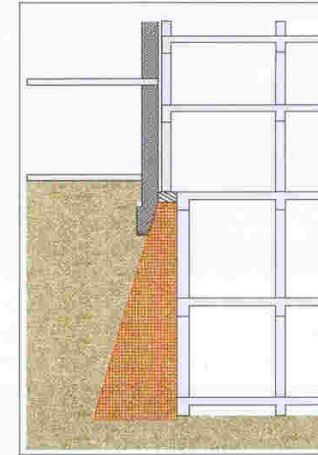




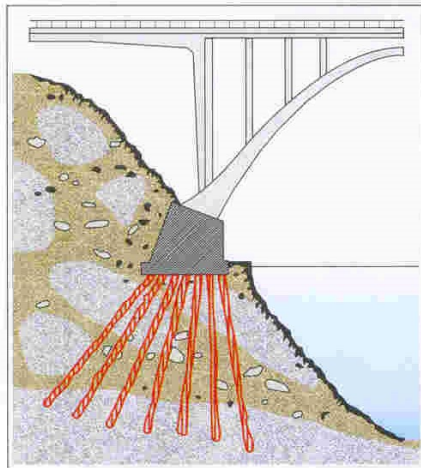
Reforço de Fundações de Monumentos Históricos  
Ex.: Palácio da Liberdade - Belo Horizonte - MG



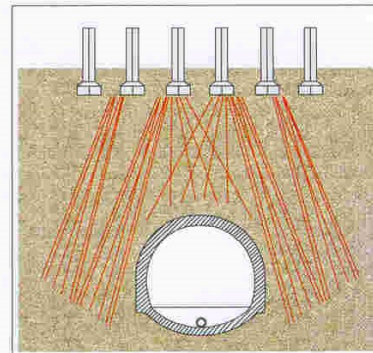
Aplicação de estacas-raiz na construção de andares em edifícios existentes.



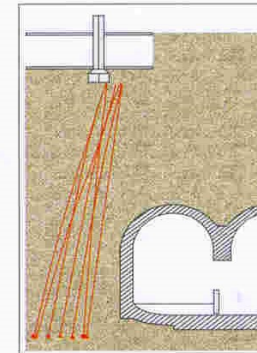
Esquema de estrutura de contenção



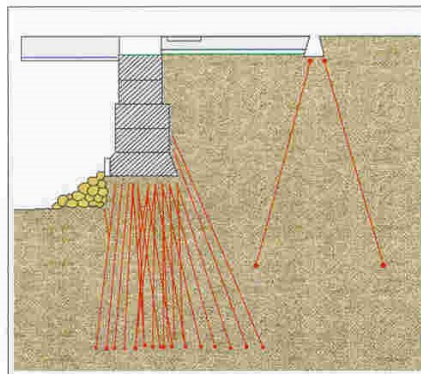
Consolidação dos blocos de fundação de ponte



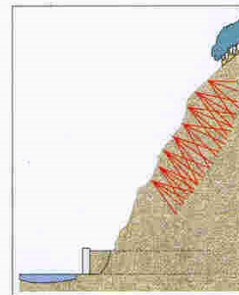
Estrutura reticular tridimensional de estacas-raiz para sub-fundação de edifício



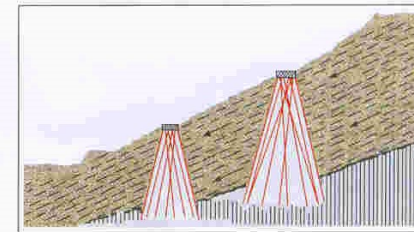
Sub-fundação de edifício com reticulado de estacas-raiz para prevenir recalques decorrentes de escavação de galerias de metrô



Reforço de cais de atracação

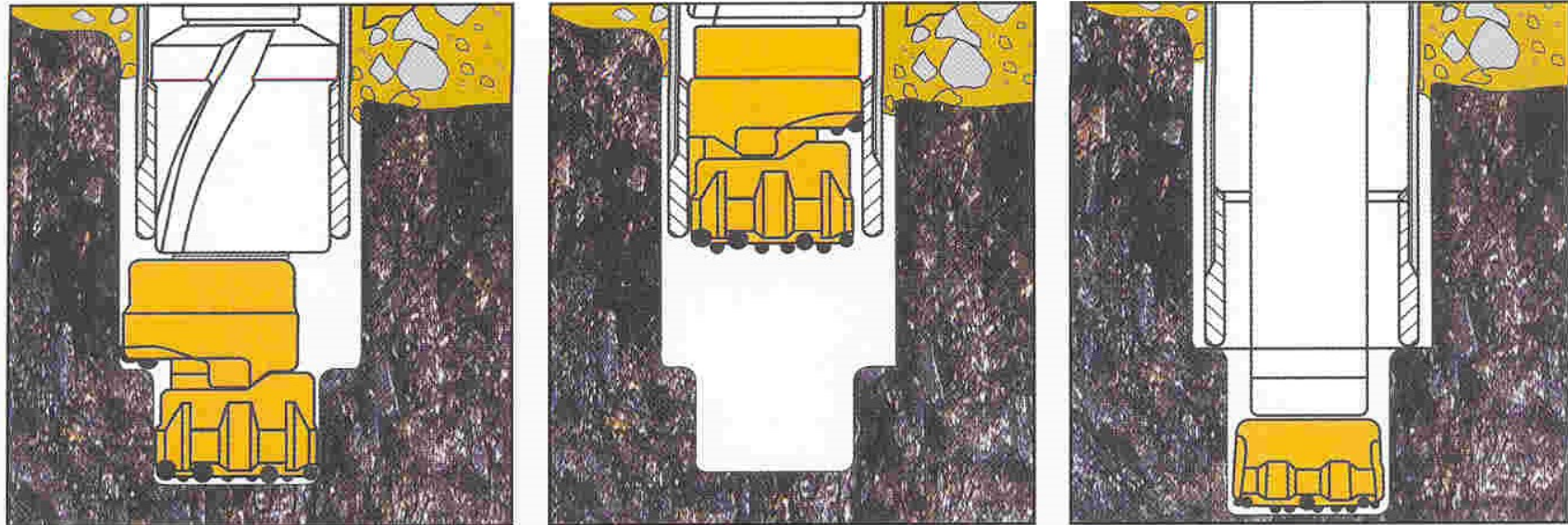


Estrutura reticular em formação rochosa



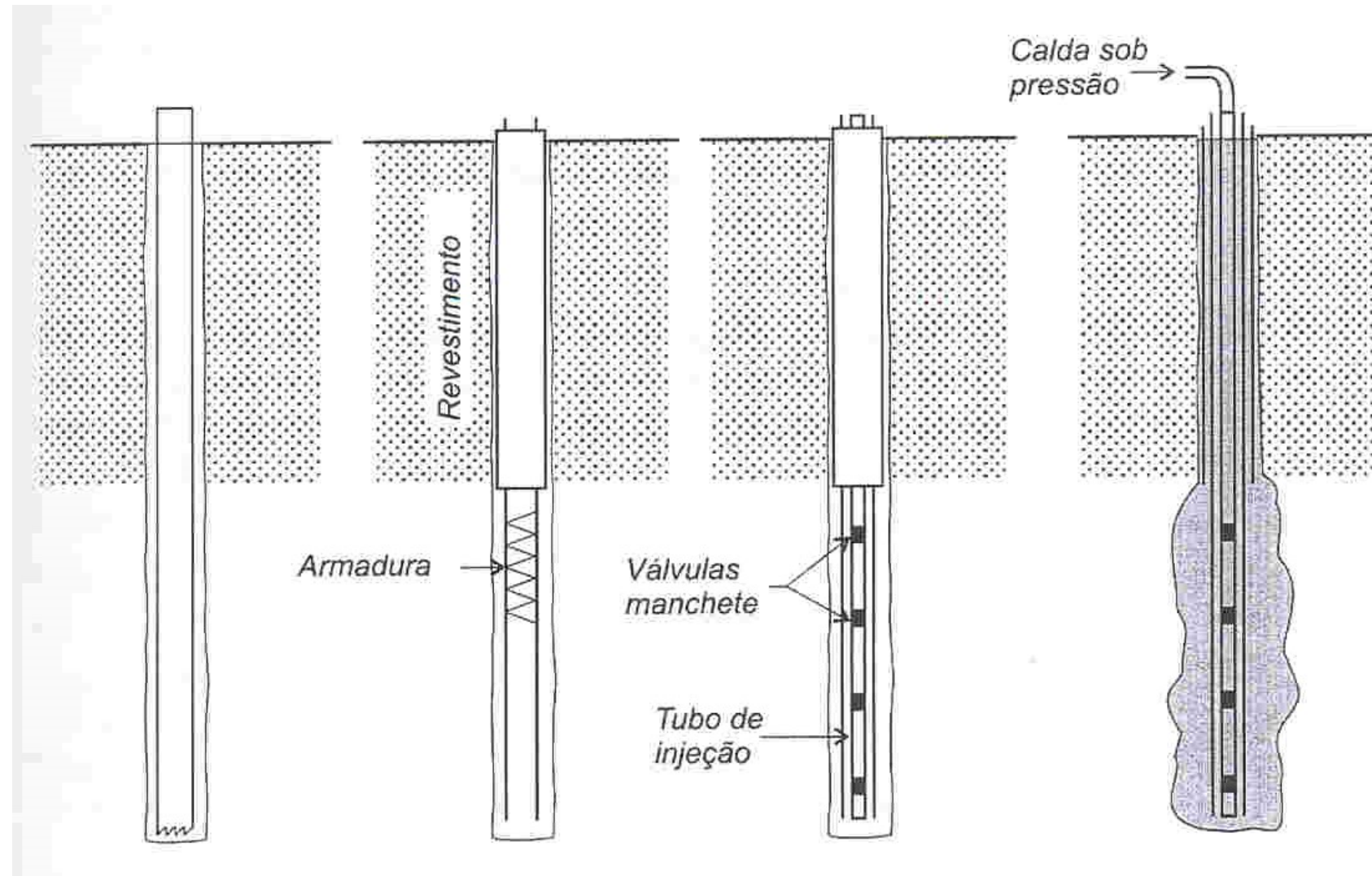
Consolidação de taludes em terrenos soltos

# Martelo de fundo excêntrico para perfuração de matacões





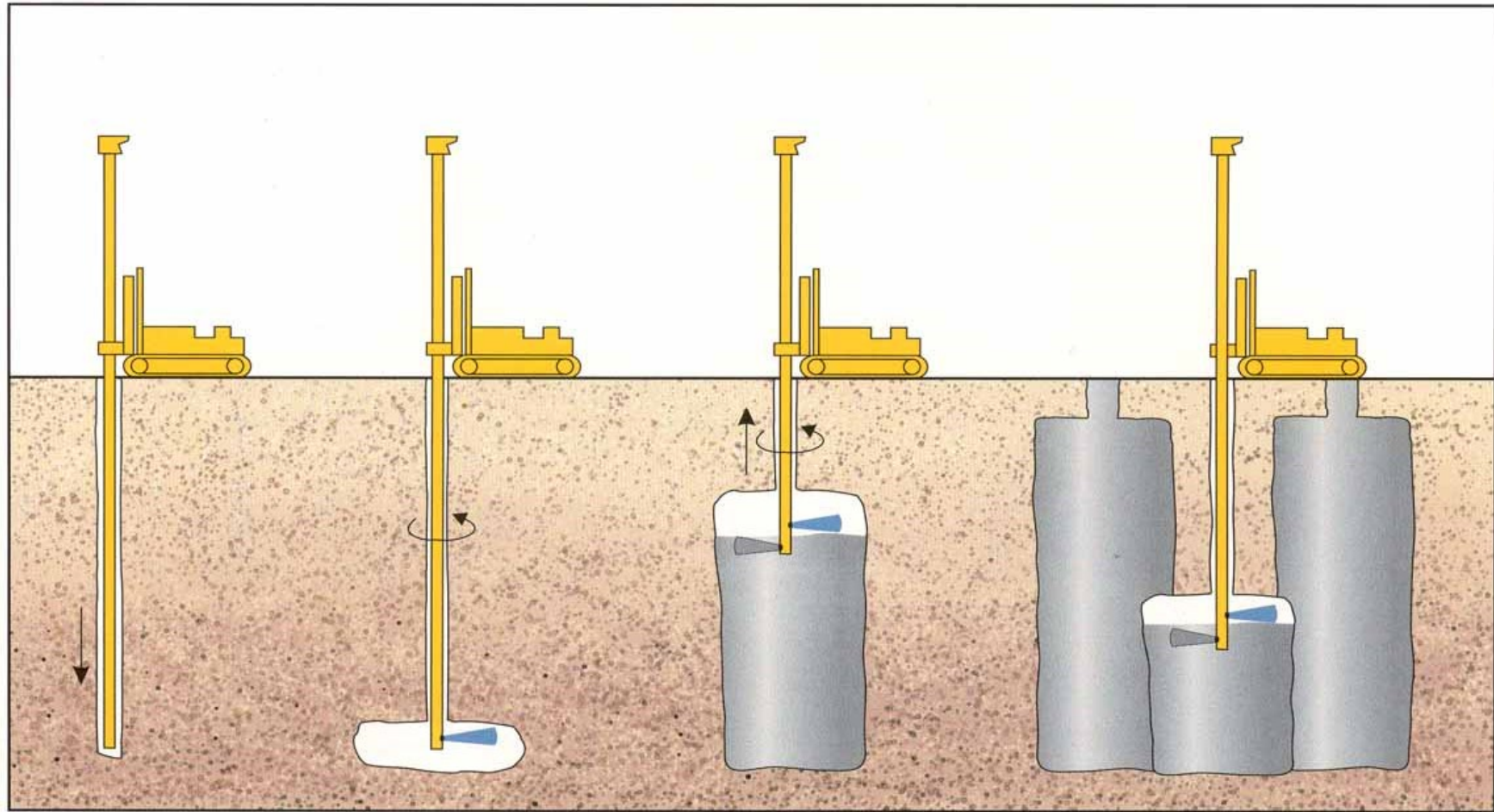
# Micro estaca



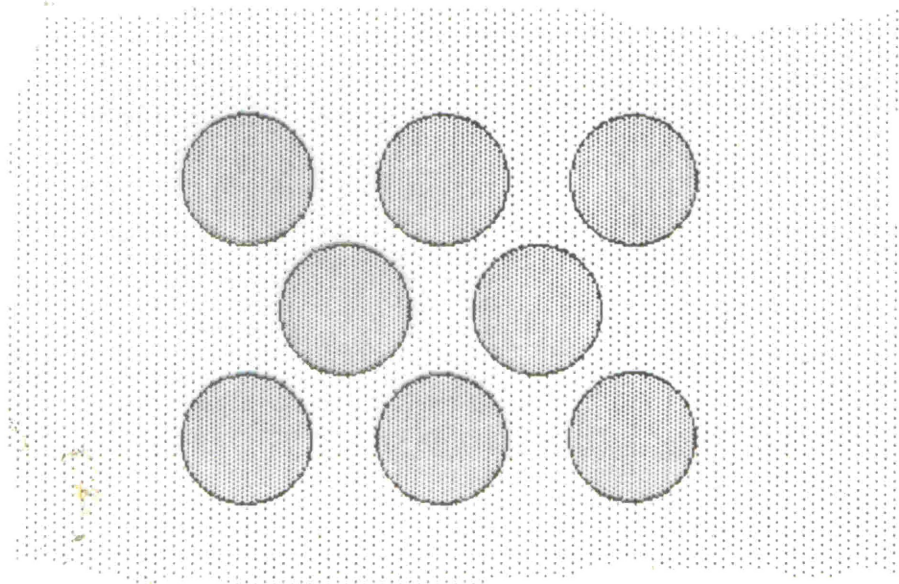
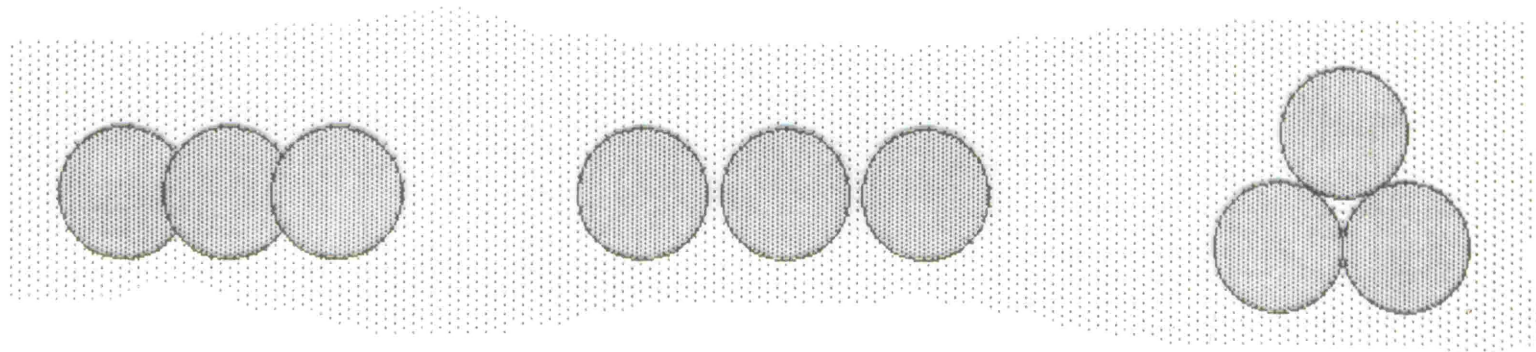
# CCP/Jet Grouting

- Injeção de nata de cimento a 300kgf/cm<sup>2</sup>
- Haste 6cm diam. para jateamento
- Melhoram o terreno, executando colunas de solo-cimento no local

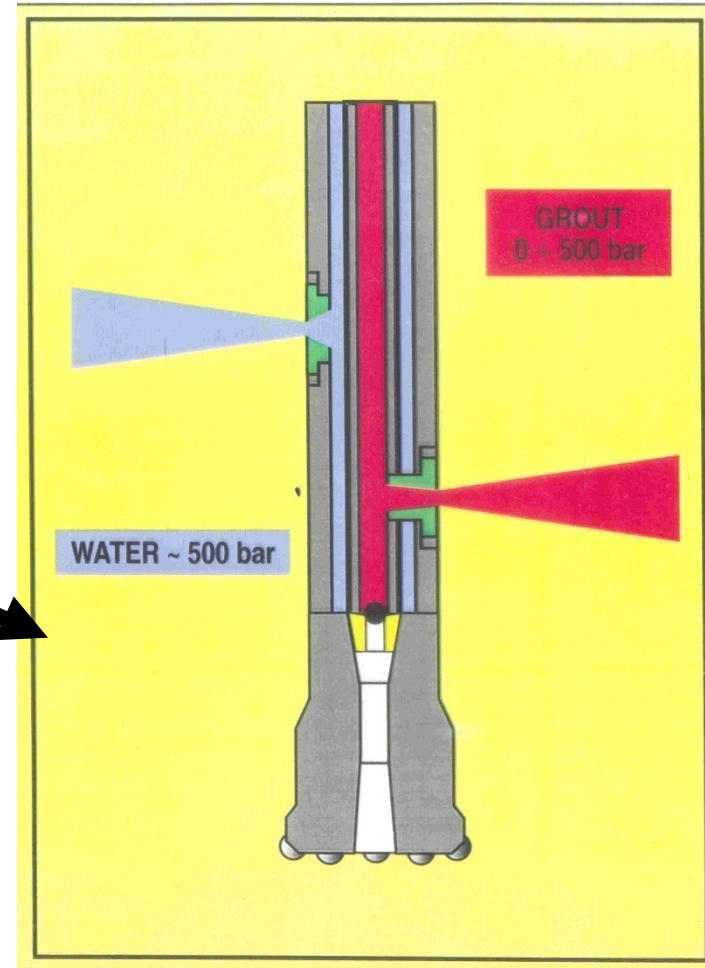
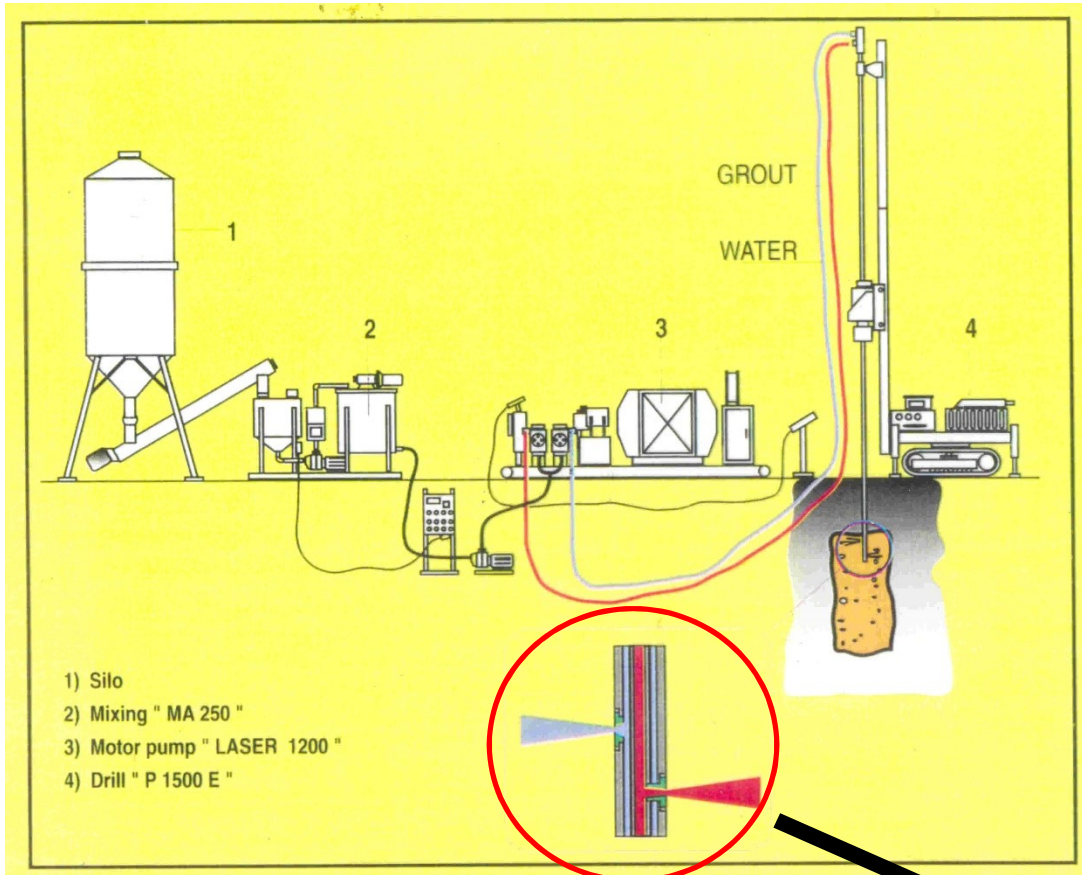
# Jet grouting – seqüência construtiva típica



# Configurações de conjuntos de colunas













# Estacas especiais

