



Departamento de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil



Geotecnia de Fundações TC 041

8º Semestre

Organizado por:

Profa. Caroline Tomazoni Santos

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

Profa. Liamara Paglia Sestrem

Prof. Vítor Pereira Faro

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGCECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGCECC

1



Sumário

- Esta aula aborda os temas:
 - Métodos construtivos de estacas;
 - Tipos de fundações.



2



MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE ESTACAS

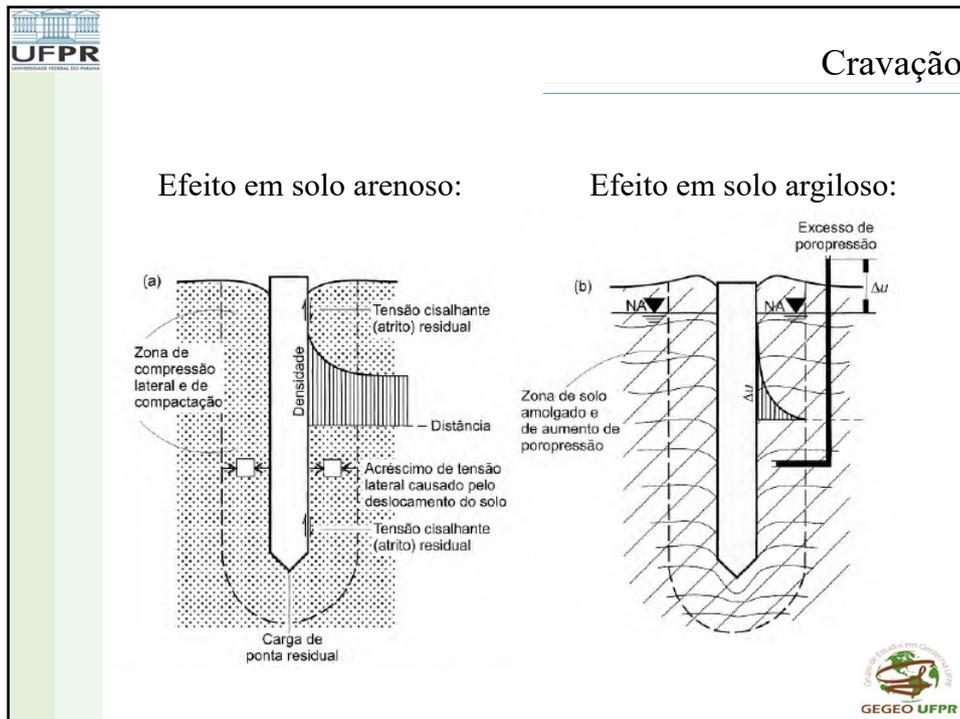
3



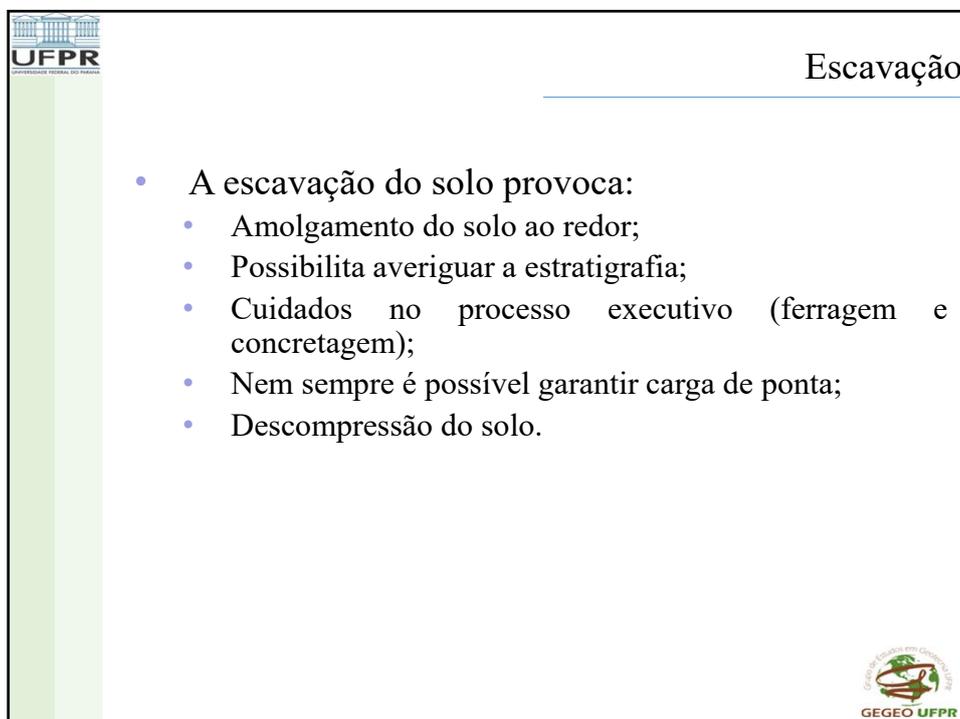
Cravação

- A cravação de estacas provoca:
 - Compactação;
 - Fratura de grãos;
 - Alteração do estado de tensões no solo;
 - Aumento da poropressão;
 - Excesso de ruídos e vibrações.

4



5

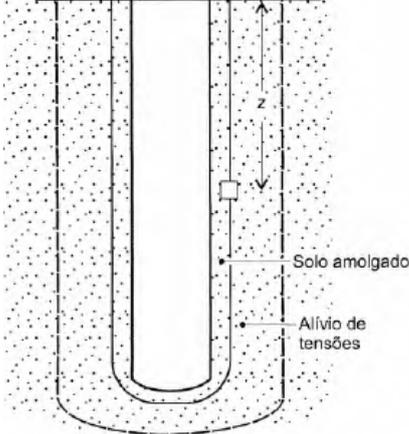


6

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Escavação

- A escavação do solo pode ocasionar descompressão do terreno:



Solo amolgado

Alívio de tensões

GEGEO UFPR

7

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TIPOS DE FUNDAÇÕES

GEGEO UFPR

8

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTUDO DE FUNDAÇÕES

Forma de transferência de cargas da estrutura para o solo

Diretas
Base do elemento

Indiretas
Atrito lateral e por efeito de ponta

Profundidade da cota de apoio

Rasas
Até 3 metros

Profundas
A cota de apoio da base situa-se a uma profundidade superior a 2 vezes sua menor dimensão

GEGEO UFPR

9

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTUDO DE FUNDAÇÕES

- Dois grupos distintos definidos segundo a forma de transmissão das cargas ao solo:
 - a) Fundações diretas: carga transmitida ao solo por pressões na base das fundações;
 - b) Fundações profundas: carga transmitida ao solo por pressões na base das fundações e por atrito ou adesão na superfície lateral.

GEGEO UFPR

10

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Fundações diretas

Grelha.

Radier.

11

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Fundações profundas

estaca tubulão caixão

12

Fundações mistas

sapata associada à estaca radier sobre estaca ou tubulões



13

Quadro resumo

Fundações diretas rasas	Blocos e alicerces		
	Sapatas	Corrida	
		Isolada	
		Associada	
Alavancada			
Radiers			
Fundações diretas profundas	Tubulões	Céu aberto	
		Ar comprimido	
Fundações indiretas	Brocas		
	Estacas de madeira		
	Estacas de aço		
	Estacas de concreto pré-moldadas		
	Estacas de concreto moldadas in loco	Strauss	
		Franki	
		Hélice contínua/Ômega	
Barrete/Estacão e raiz			



14

UFPR UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Tipo de execução	Estacas
De grande deslocamento			Madeira
			Pré-moldadas de concreto
			Tubos de aço de ponta fechada
			Tipo Franki
			Microestacas injetadas
De pequeno deslocamento			Perfis de aço
			Tudo de aço de ponta aberta
			Estacas hélice especiais
Sem deslocamento			Estacas com revestimento metálico perdido avança à frente da escavação
			Estacas raiz
De substituição			Estacas sem revestimento ou com uso de lama
			Estaca Strauss
			Estacas hélice contínua em geral e ômega



15

UFPR UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ		Tomada de decisão	
LIMITES DE PROFUNDIDADE DE EXECUÇÃO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE GOLPES N (ou N_{SP}), DE ALGUNS TIPOS DE ESTACAS/TUBULÕES, CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONVENCIONAIS, SEM A ADOÇÃO DE RECURSOS ESPECIAIS DE EXECUÇÃO			
TIPO DE ESTACA/TUBULÃO		NÚMERO DE GOLPES DO "IMPENETRÁVEL" PARA O EQUIPAMENTO DE EXECUÇÃO	OBSERVAÇÃO
Estaca pré-moldada de concreto	diâmetro menor que 30 cm	N = 20 a 25 golpes/30cm ou Σ N = 80 golpes/30cm	Cuidado com tensão de compressão ou tração excessiva na cravação
	diâmetro maior ou igual a 30 cm	N = 30 ± 5 golpes/30cm	Cuidado com tensão de compressão ou tração excessiva na cravação
Estaca de perfil metálico		N = 60 a 70 golpes/30cm	Pode haver desvio na cravação
Estaca tubada (tubo cheio concreto)		N = 30 ± 10 golpes/30cm	Cuidado com pressão artiana
Estaca Strauss		N = 20 golpes/30cm	Nível d'água é limitante
Estaca Franki	em solos arenosos	N = 10 a 12 golpes/30cm	
	em solos argilosos	N = 25 ± 5 golpes/30cm	Cuidado com execução em argila mole
Estaca escavada com lama		N = 60 ± 10 golpes/30cm	Cuidado com a limpeza do fundo da cava, abastecimento de concreto e bota-fora
Tubulão	sob ar comprimido	N = 25 a 30 golpes/30cm	Cuidado com o mal do mergulhador
	a céu aberto	N = 25 a 30 golpes/30cm	Nível d'água é limitante
Estaca hélice contínua		N = 30 ± 10 golpes/30cm	Abastecimento de concreto, bota-fora
Estaca ômega		N = 30 ± 5 golpes/30cm	Abastecimento de concreto
Estaca raiz		ilimitado	Peculiaridades executivas

EESC-USP - DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA - SCS-404 : FUNDACÕES



16

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas de madeira

- Troncos de árvores cravados com bate-estacas de pequenas dimensões;
- Antes da difusão da utilização do concreto elas eram muito usadas quando a camada de apoio às fundações se encontrava em profundidades grandes;
- Tipo de madeiras utilizadas: eucalipto ou “madeira de lei” (peroba, aroeira, maçaranduba, ipê...);
- Diâmetros usuais: 25, 30, 35 e 40 cm;
- Estacas caras com relativa baixa capacidade de carga em relação ao diâmetro e difíceis de encontrar;
- No Brasil, atualmente, em obras provisórias.




Teatro Municipal do Rio de Janeiro

GEGEO UFPR

17

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas de madeira

- Em Curitiba, edifício Moreira Garcez:
 - Rua XV de Novembro com Voluntários da Pátria;
 - Primeiro “arranha-céu” do Paraná, terceiro do país;
 - Engenheiro João Moreira Garcez, prefeito;
 - Troncos de eucalipto embebidos em óleo cru.



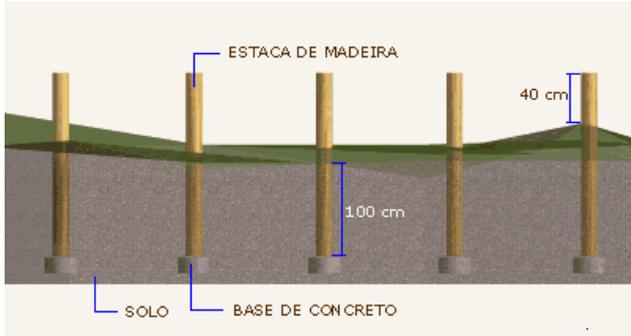
GEGEO UFPR

18

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas de madeira

- Desvantagem: submetida a variação do N.A. apodrece por ação de fungos aeróbios. Impossível obter um meio completamente seco.



ESTACA DE MADEIRA

40 cm

1,00 cm

SOLO

BASE DE CONCRETO

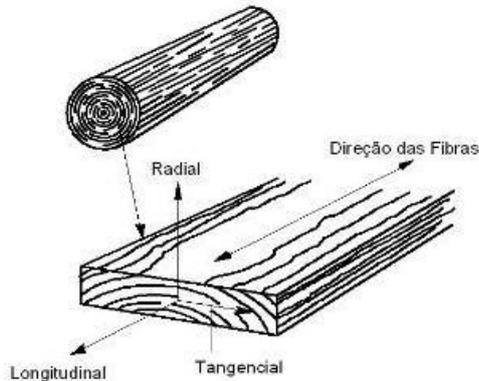
GEGEO UFPR

19

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas de madeira

- Considerar anisotropia, material não homogêneo;



Direção das Fibras

Radial

Longitudinal

Tangencial

GEGEO UFPR

20

Estacas de madeira

- Dimensionamento:

LIGAÇÕES EM ESTACAS DE MADEIRA

REGRA GERAL:

$D = 0,15 + 0,02 L$

Ex: para uma estaca de 10 m de comprimento

$D = 0,15 + 0,02 \times 10$
 $D = 0,15 + 0,2$
 $D = 0,17 \text{ m}$

L = 10 m

Esquema de proteção

21

Estacas de madeira

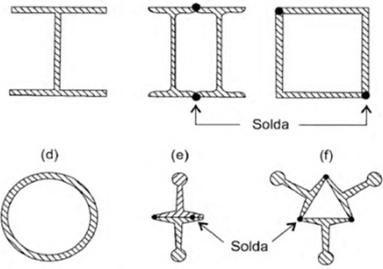
- Dimensionamento:

Estacas de madeira	
Diâmetro (cm)	Carga admissível (toneladas)
30	33
35	38
40	45

22

Estaca metálica

- Diversas formas:
 - Perfis laminados (I ou H, ou trilhos de trem), perfis soldados e tubos.






23

Estaca metálica

- Perfis laminados (I):






24

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca metálica

- Perfis laminados (H e Trilhos):



GEGEO UFPR

25

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca metálica

- Profundidade: acima de 24 m (cuidar com verticalidade);
- Boa durabilidade: sempre enterradas (quantidade de oxigênio nos solos naturais muito baixa).



GEGEO UFPR

26

Estaca metálica

- **Dimensionamento:**

Tipo de Estaca	Tipo / Dimensão	peso/metro (kgf/m)	Carga máx.(kN)
Trilhos usados $\sigma \approx 80$ MPa	TR 25	24,6	200
	TR 32	32,0	250
	TR 37	37,1	300
	TR 45	44,6	350
	TR 50	50,3	400
	2 TR 32	64,0	500
	2 TR 37	74,2	600
(verificar grau de desgaste e alinhamento)	3 TR 32	96,0	750
	3 TR 37	111,3	900
	<hr/>		
Perfis I e H - Aço A36	I 8" (203 mm)	27,3	300
	I 10" (254 mm)	37,7	400
Descontados 1,5 mm para corrosão e aplicada $\sigma = 120$ MPa	I 12" (305 mm)	60,6	600
	2 I 10"	75,4	800
	2 I 12"	121,2	1200
	H 6" (152 mm)	37,1	400
Perfis H - Aço A572	H 200 mm	46,1	700
	H 200 mm	59,0	1000
Descontados 1,5 mm e aplicada $\sigma = 175$ MPa	H 250 mm	73,0	1200
	H 310 mm	93,0	1500
	H 310 mm	117,0	2000

σ = tensão de trabalho (adotada como 0,5 f_{yk} para peças novas)



27

Estaca metálica

- **Dimensionamento:**
 - Normas:
 - A NBR 6122 dispensa tratamento especial desde que descontada uma espessura de sacrifício.
 - As estacas devem ser dimensionadas pela NBR 8800, considerando a espessura reduzida (pela espessura de sacrifício) da NBR 6122.

Classe do solo	Espessura de sacrifício (mm)
Solos naturais e aterros controlados	1,0
Argila orgânica	1,5
Solos turfosos	3,0
Aterros não controlados	2,0
Solos contaminados*	3,2

*Solos agressivos deverão ser estudados especificamente



28

Estaca metálica

- Dimensionamento:
 - Características complementares:
 - Variação de perfil com a profundidade por (atrito lateral) resultante vai reduzindo;
 - Cuidar com ancoragem da estaca no bloco;
 - Aderência (1,4 menor que barra entalhada).

GE GEO UFPR

29

Estaca metálica

- Vantagens:
 - Podem ser cravadas em quase todos tipos de terrenos;
 - Possuem facilidade de corte e emenda;
 - Podem atingir grande capacidade de carga;
 - Trabalham bem a flexão;
 - Se utilizadas em serviços provisórios podem ser reaproveitadas várias vezes;
 - Penetram em solos mais resistentes.
- Desvantagem:
 - Custo maior em relação às estacas pré-moldadas de concreto, Strauss e Franki.

GE GEO UFPR

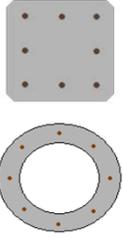
30

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas pré-moldadas de concreto

- Concreto é o melhor material para a construção de estacas graças a sua resistência aos agentes agressivos e por suportar bem aos ciclos de umedecimento e secagem, além de elevadas cargas.
- Classificação:

Tipo de Concreto	Confecção	Armadura
<ul style="list-style-type: none"> • Concreto vibrado; • Concreto centrifugado; • Extrusão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Em canteiro; • Em usina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto armado; • Concreto protendido.




31

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas pré-moldadas de concreto

- Podem ser produzidas em seções:
 - Quadrada;
 - Circular;
 - Sextavada;
 - Vazadas ou não.
- O comprimento de cravação real as vezes difere do previsto na sondagem, levando a duas situações:
 - Necessidade de corte;
 - Necessidade de emenda.






32

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas pré-moldadas de concreto

- **Vantagens:**
 - Boa qualidade do concreto;
 - Segurança a passagem através de camadas muito moles;
 - Podem ser cravadas até níveis abaixo do nível d'água.
- **Desvantagens:**
 - Vibrações no terreno;
 - Não atravessam camadas resistentes;
 - Necessidade de boa definição da camada resistente, para se evitar corte ou emendas (custo).



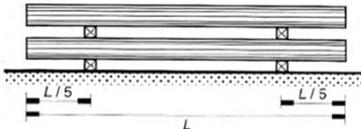

GEGEO UFPR

33

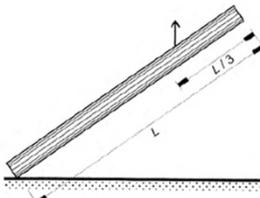
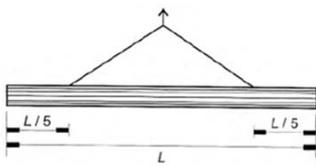
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas pré-moldadas de concreto

- **Manipulação e Estocagem:**
 - Fabricada em segmentos (4 a 12 m);
 - Requerem armaduras especiais para içamento;
 - Estocagem (pelos quintos):



- **Içamento (pelo terço):**
- **Pontos de suspensão (pelos quintos):**

GEGEO UFPR

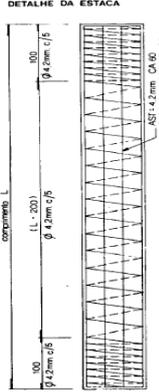
34

Estacas pré-moldadas de concreto

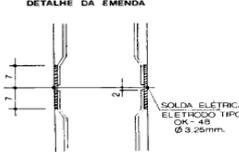
- Emenda por solda:



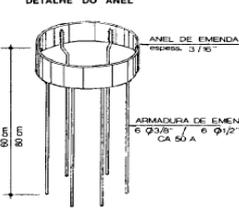
DETALHE DA ESTACA



DETALHE DA EMENDA



DETALHE DO ANEL



GEGEO UFPR

35

Estaca prensada (Mega)

- Sistema de introdução de cilindros de aço ou concreto sob a fundação existente.
- Trabalhos realizados a partir de acessos escavados até cerca de 1,5 m abaixo da fundação original.
- Elementos cravados por prensagem através de um cilindro (macaco) hidráulico que toma como base (reação) a fundação existente, a capacidade de carga aumenta a cada aplicação dos elementos.

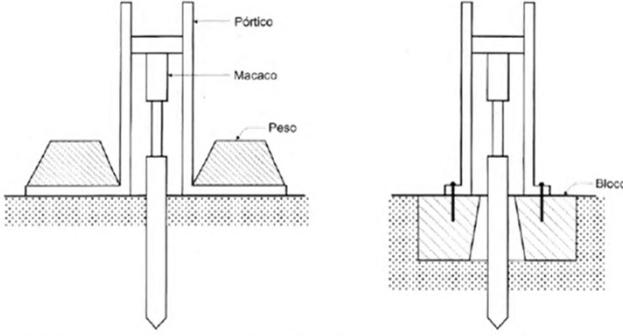
GEGEO UFPR

36

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca prensada (Mega)

- Para a cravação dessas estacas emprega-se uma plataforma com sobrecarga ou a própria estrutura como reação.
- Necessário que o terreno suporte a carga de reação.

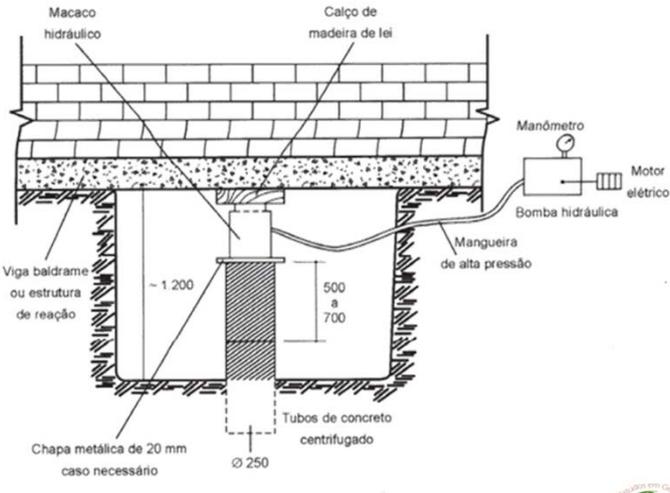


GEGEO UFPR

37

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca prensada (Mega)



Macaco hidráulico

Calço de madeira de lei

Manômetro

Motor elétrico

Bomba hidráulica

Mangueira de alta pressão

Viga baldrame ou estrutura de reação

~ 1 200

500 a 700

Chapa metálica de 20 mm caso necessário

∅ 250

Tubos de concreto centrifugado

Medidas em milímetros

GEGEO UFPR

38

Estaca broca

- São executadas “in loco” sem molde;
- Casos com baixa intensidade de cargas;
- Terrenos com menor capacidade superficial;
- Escavada com trado e preenchida com concreto;
- Φ da broca – entre 15 e 30 cm (usual – 20 cm);
- Broca do trado é composto de 4 facas;
- Acoplado a tubos de aço galvanizado.



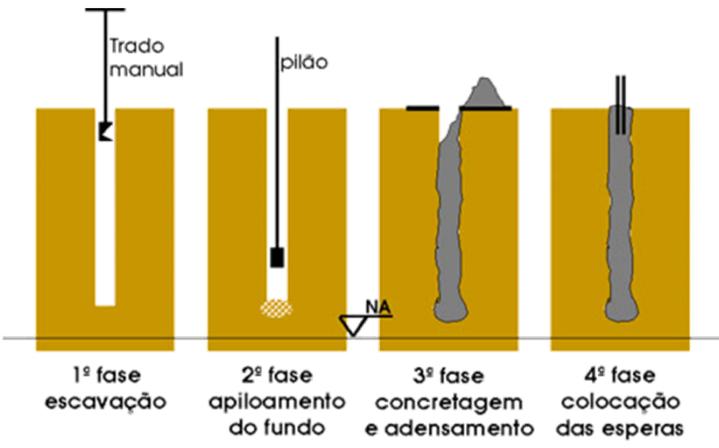
VISTA INFERIOR
MOSTRANDO AS 4 FACAS

GEGEO UFPR

39

Estaca broca

- Sequência executiva:

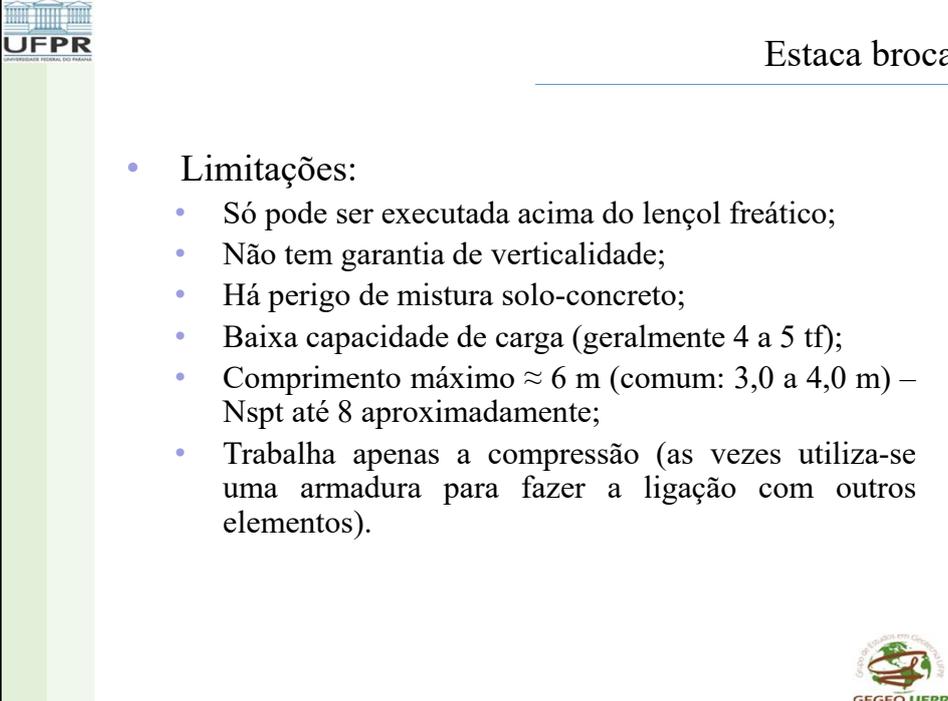


GEGEO UFPR

40

Estaca broca

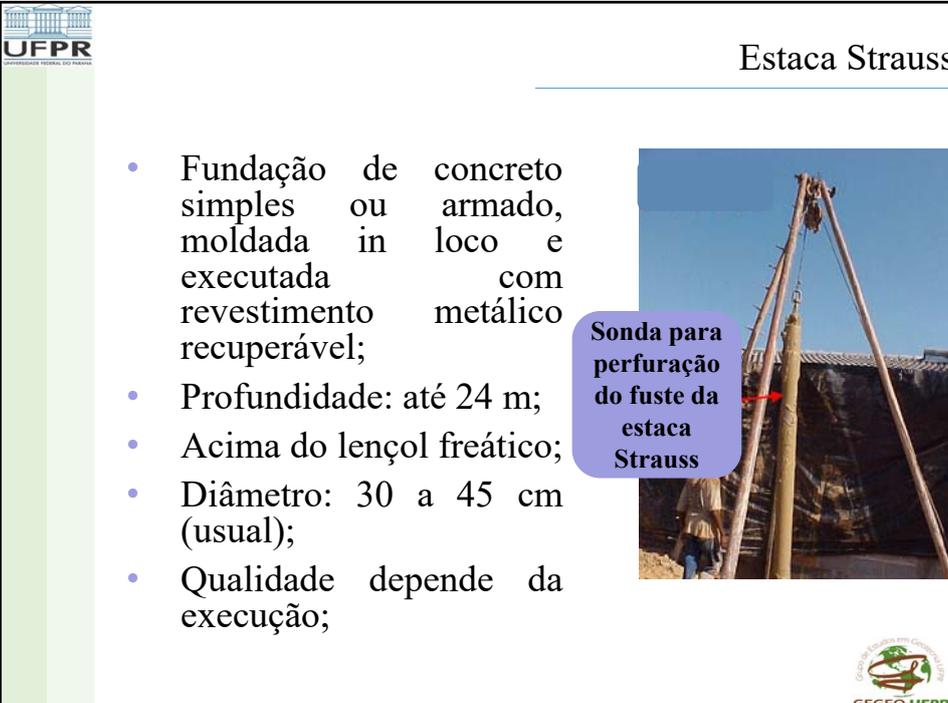
- Limitações:
 - Só pode ser executada acima do lençol freático;
 - Não tem garantia de verticalidade;
 - Há perigo de mistura solo-concreto;
 - Baixa capacidade de carga (geralmente 4 a 5 tf);
 - Comprimento máximo \approx 6 m (comum: 3,0 a 4,0 m) – Nspt até 8 aproximadamente;
 - Trabalha apenas a compressão (as vezes utiliza-se uma armadura para fazer a ligação com outros elementos).



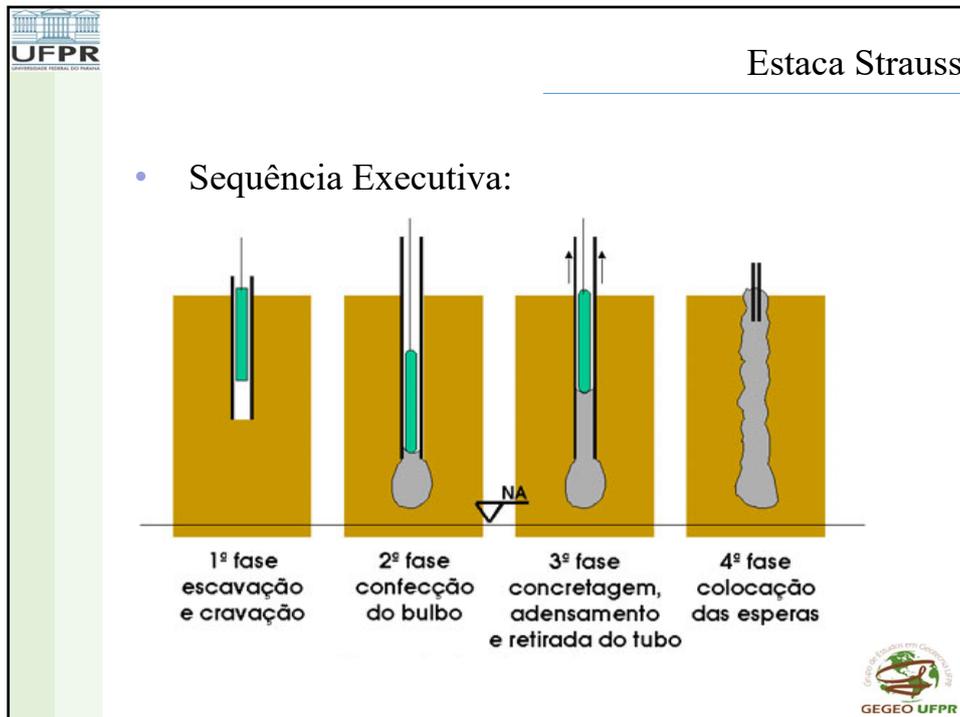
41

Estaca Strauss

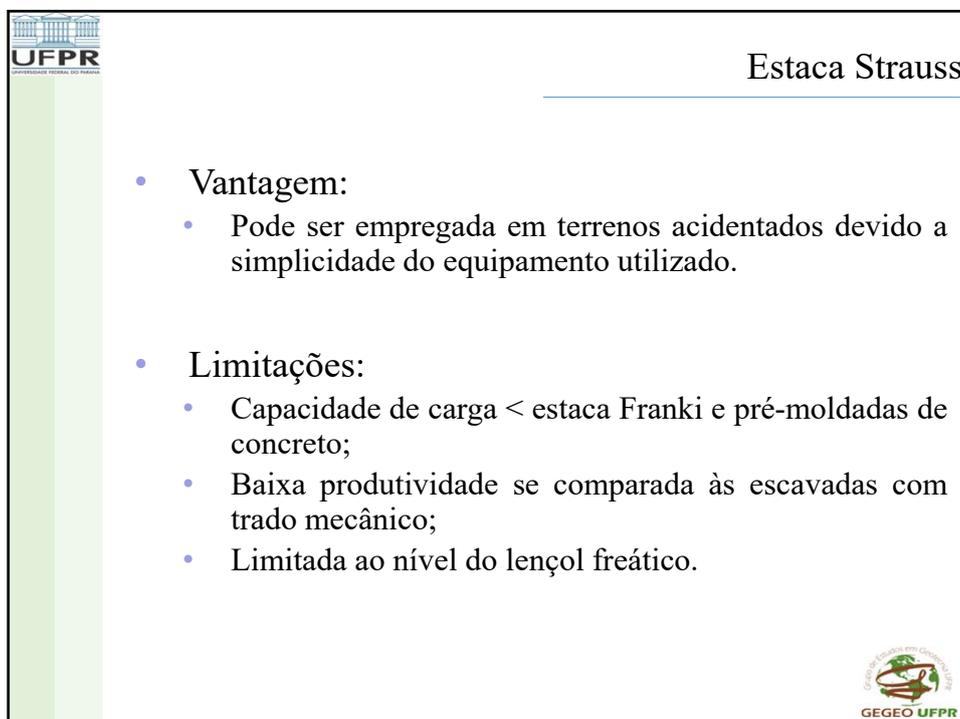
- Fundação de concreto simples ou armado, moldada in loco e executada com revestimento metálico recuperável;
- Profundidade: até 24 m;
- Acima do lençol freático;
- Diâmetro: 30 a 45 cm (usual);
- Qualidade depende da execução;

42



43

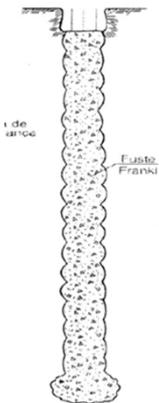


44

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca Franki

- Desenvolvida pelo eng. belga Edgard Frankignoul na década de 1910;
- Apresentava qualidade e custo vantajoso, devido comprimentos menores (base alargada);
- Alto grau de atrito lateral;
- Melhoramento do terreno;
- Profundidade até 18m;
- Φ 30 a 60 cm;
- Causa vibração.



GEGEO UFPR

45

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca Franki



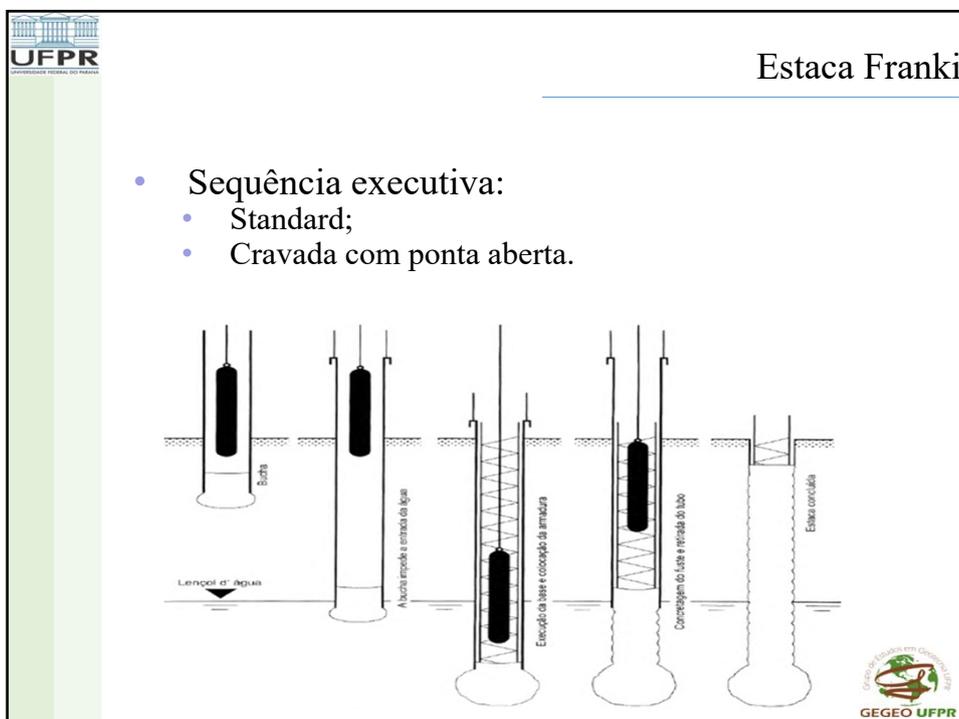

GEGEO UFPR

46



Estaca Franki

47



Estaca Franki

- Sequência executiva:
 - Standard;
 - Cravada com ponta aberta.

48

Estaca Franki

- Sequência executiva:
 - Mista (Fuste Pré-Moldado);

GEGEO UFPR

49

Estaca Franki

- Caso exista uma camada de argila orgânica mole saturada:
 - **Alternativa 1:**
 - Cravar o tubo até solo firme e encher o mesmo com areia;
 - Arrancar o tubo e tornar a cravá-lo no mesmo lugar.;
 - Observação: isso irá formar uma camada de areia que irá aumentar a resistência da argila mole, protegendo o concreto fresco do “estrangulamento”.
 - **Alternativa 2:**
 - Após a cravação do tubo, execução da base e colocação da armação, encher inteiramente o mesmo com concreto plástico (Slump 8 a 12 cm);
 - Em seguida, o mesmo é retirado de uma só vez com o auxílio de um equipamento vibrador acoplado ao tubo;
 - A este processo executivo dá-se o nome de estaca Franki com fuste vibrado.

GEGEO UFPR

50



Estaca Franki

- Vantagens:
 - Grande capacidade de carga;
 - Podem ser executadas a grande profundidade;
 - Não são limitadas pelo lençol freático.
- Limitações:
 - Alta vibração do solo durante a execução;
 - Grande área necessária para o bate estacas.



51



Estaca escavada

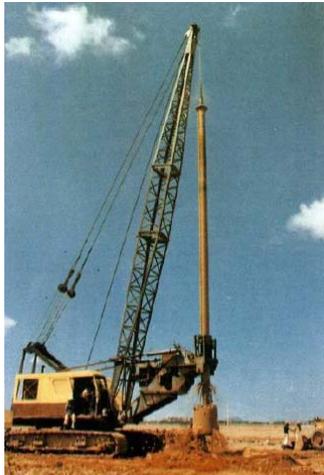
- Seção circular (Φ 20 a 200 cm);
- Escavação mecânica com equipamento rotativo;
- Uso de lama bentonítica;
- Concretada com uso de tremonha;
- Profundidade: 30 a 70 m;
- Cuidar com solos moles.



52

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca escavada





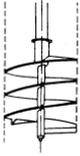
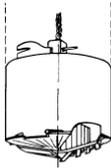
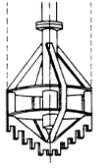
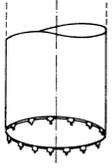
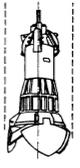

GEGEO UFPR

53

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estaca escavada

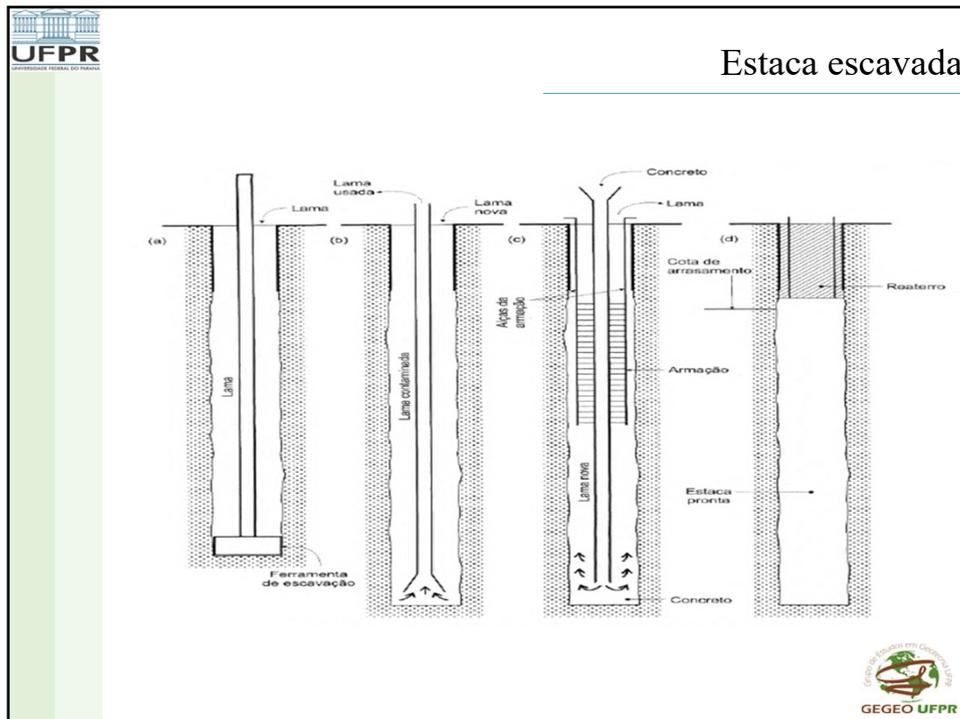
- Tipos de brocas:
 - Mesa rotativa que aciona uma haste telescópica que tem em sua extremidade inferior a broca de perfuração.

Trado helicoidal Caçamba Cortante dentada Coroa rotativa Martelo piteira

GEGEO UFPR

54



55

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

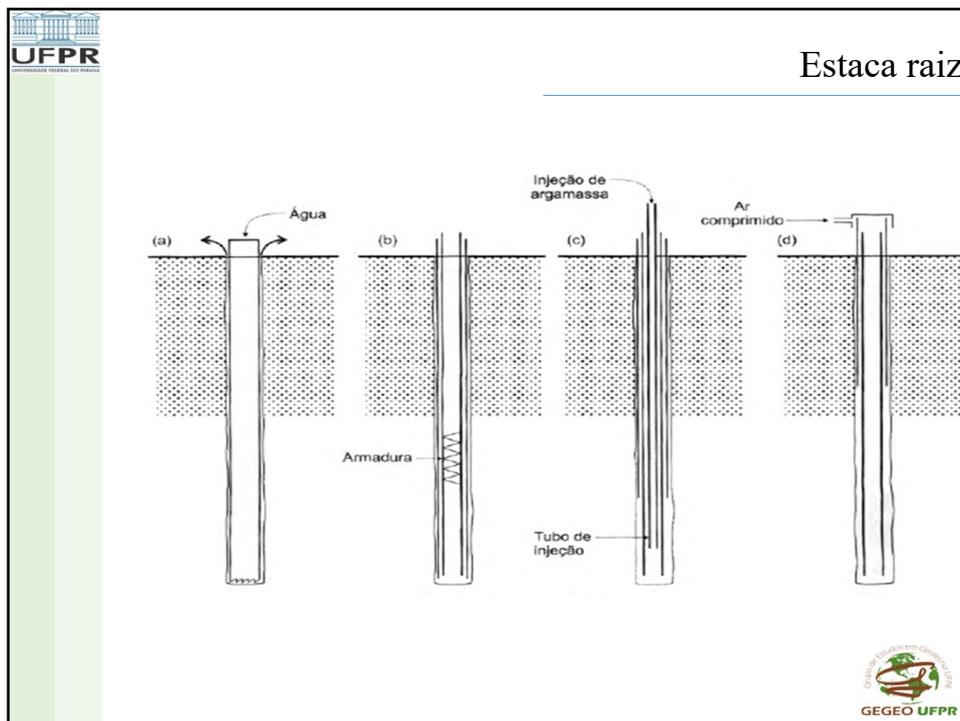
Estaca raiz

- Têm particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos de estacas não podem ser empregadas:
 - Não produzem choques nem vibrações;
 - Há ferramentas que permitem executá-las através de obstáculos tais como rocha ou peças de concreto (penetração em rocha);
 - Os equipamentos são de pequeno porte, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos;
 - Podem ser executadas na vertical ou em qualquer inclinação.
- Essas características fizeram praticamente eliminar as estacas tipo Mega do mercado.

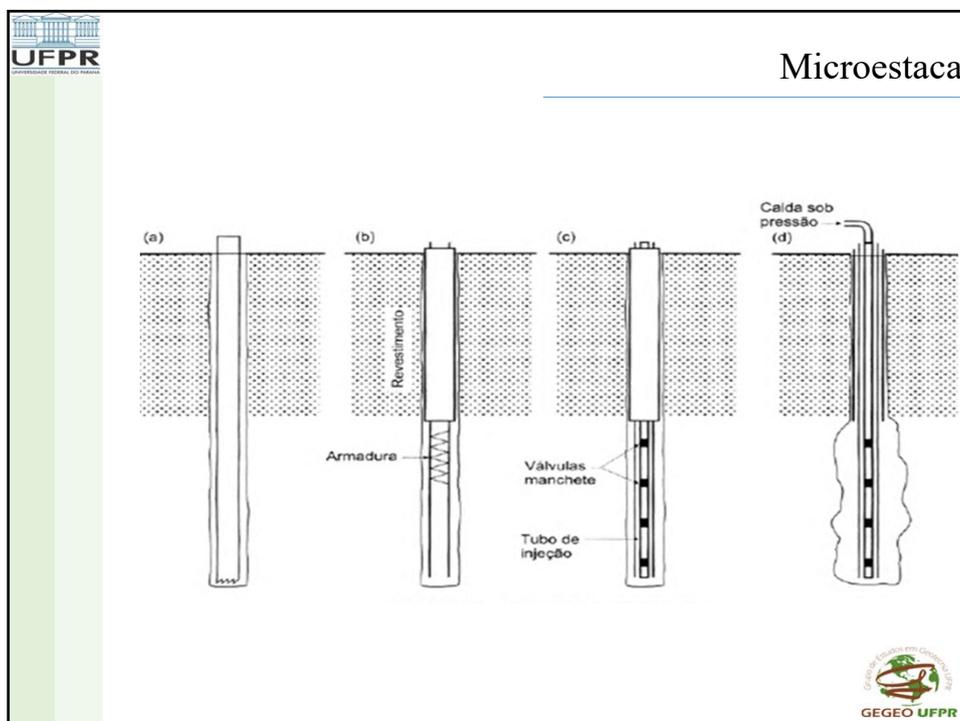
UFPR

GEGEO UFPR

56



57



58

Hélice contínua

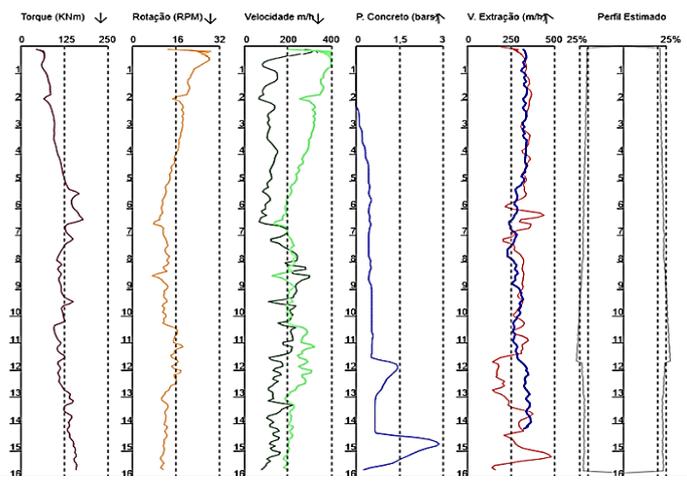
- Profundidade de até 32 m;
- Φ até 120 cm e 700 tf;
- Baixo grau de ruído e vibração;
- Perfuração em solos pouco coesos;
- Perfuração abaixo do nível da água;
- Controle a partir do torque.




59

Hélice contínua

- Relatório de execução:



60

Hélice contínua

- Armadura colocada posteriormente à concretagem – slump alto – armadura até 12 m ok – cuidar acima disso.

Característica	Unidade
Consumo de Cimento	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
Slump Test	$22 \pm 3 \text{ cm}$
Fator água/cimento	$\leq 0,6$
% argamassa em massa	$\geq 55\%$
fck	$\geq 20 \text{ MPa}$

- Na introdução da armadura: cuidar com verticalidade – perfuração da estaca.
- Versátil, rápida execução (400 m por dia), sobreconsumo de até 30%, variações de seção (bulbos), 90 dias para mobilização.

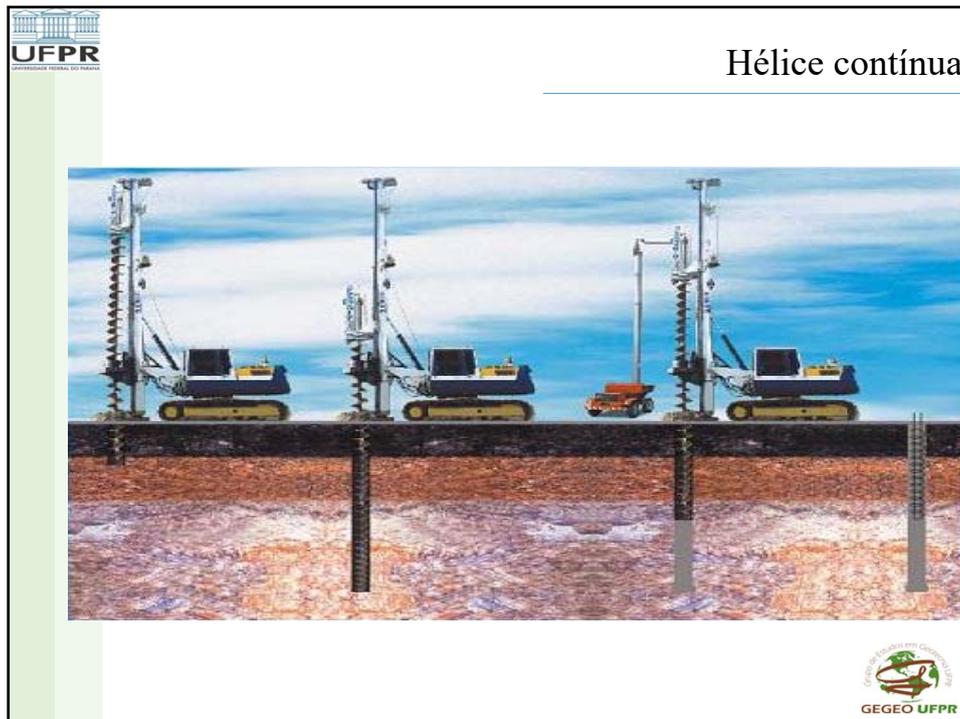


61

Hélice contínua




62



63

The image shows three omega pile drilling rigs (also known as omega piles) in operation on a construction site. The rigs are mounted on tracked carriers and are positioned on a concrete slab. Below the slab, a cross-section of the ground is visible, showing the drilled shafts and the omega-shaped blades. The sky is blue with some clouds.

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Estacas ômega

- Profundidade de até 25 m;
- Φ até 30 a 60 cm;
- 2000 kN;
- Baixo grau de ruído e vibração;
- Perfuração em solos pouco coesos;
- Perfuração abaixo do nível da água;
- Controle a partir do torque.

GEGEO UFPR

64

