

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia de Materiais e Construção**

Érica Lourenço Carvalho

**EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA RAIZ EM UM TERRENO COM  
MACIÇO ROCHOSO: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HOSPITALAR**

Belo Horizonte  
2024

Érica Lourenço Carvalho

**EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA RAIZ EM UM TERRENO COM  
MACIÇO ROCHOSO: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HOSPITALAR**

**Versão Final**

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Área: Gestão e Avaliação da Construção Civil

Orientador(a): Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte  
2024

C331e	<p>Carvalho, Érica Lourenço. Execução de fundação em estaca raiz em um terreno com maciço rochoso [recurso eletrônico] : estudo de caso em empreendimento hospitalar / Érica Lourenço Carvalho. – 2024. 1 recurso online (47 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.</p> <p>Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.</p> <p>Apêndices: f. 43-47.</p> <p>Bibliografia: f. 42.</p> <p>1. Construção civil. 2. Construção civil – Administração. 3. Construção civil – Avaliação – Estudo de casos. 4. Edifícios hospitalares – Planejamento. I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 69</p>
-------	---



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: ÉRICA LOURENÇO CARVALHO

MATRÍCULA: 2022692726

### RESULTADO

Aos 12 dias do mês de julho de 2024 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA RAIZ EM UM TERRENO COM MACIÇO ROCHOSO: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HOSPITALAR”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 87

CONCEITO: B

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Nome

Profª. Drª. Danielle Meireles de Oliveira



Documento assinado digitalmente

ALDO GIUNTINI DE MAGALHAES

Data: 12/07/2024 15:52:14-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Assinatura

Danielle Meireles de  
Oliveira:048975766  
95

Assinado de forma digital por  
Danielle Meireles de  
Oliveira:04897576695  
Dados: 2024.07.12 16:11:30  
-03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E AVALIAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES"

Belo Horizonte, 12 de julho de 2024

Antonio Neves  
de Carvalho Jr

Assinado de forma digital

por Antonio Neves de

Carvalho Jr

Dados: 2024.07.16 11:31:47

-03'00'

Coordenador do Curso

*Este trabalho é todo dedicado ao meu  
companheiro de vida, esposo e amigo,  
Lucas Eneias Dutra e nossa querida filha,  
Laura Lourenço Dutra. Sem o apoio  
incondicional de ambos nada disso seria  
possível.*

"Não se trata mais, em absoluto, da discussão em torno do que deve ser o homem bom, mas sim de ser o homem bom." (Marco Aurélio, *Meditações*, cap. X, §16)

## RESUMO

Para definição das fundações, além das cargas da edificação, os tipos de fundações disponíveis, o tipo de solo é uma característica importante para distinguir e definir o tipo de fundação. No âmbito das fundações profundas em solos com presença de maciço rochoso, a fundação indicada é a fundação raiz. Porém para a execução deste tipo de fundação são necessárias técnicas e conhecimentos específicos. Com o objetivo de caracterizar conceitos e descrever acerca da execução de estaca raiz em maciços rochosos e suas particularidades de execução, este trabalho aborda um estudo de caso de um empreendimento real, a execução da fundação de um empreendimento hospitalar com o emprego deste tipo de fundação, a estaca raiz. O empreendimento conta com platôs em diferentes níveis, com características distintas do maciço rochoso, mas com uma solução única de fundação: a estaca raiz. Para tal entendimento o estudo recorreu a Revisão Bibliográfica dos tipos de estacas existentes para então descrever os processos da execução da estaca raiz. Foi possível com o estudo de caso obter a produtividade nos diferentes platôs da obra, descrevendo a execução da fundação da obra, classificando as atividades em casa Platô. Com o estudo foi possível entender que em um mesmo terreno, com o mesmo tipo de fundação há características distintas de execução e emprego de soluções distintas. Foi possível descrever as dificuldades, soluções e consequências das ações nesta etapa de execução nos diferentes platôs, além da elaboração de *Checklist* de execução de estaca raiz.

**Palavras-chave:** fundação profunda; estaca raiz; maciço rochoso; construção civil.

## ABSTRACT

In order to define the foundations, in addition to the building loads, the types of foundations available, the soil type is an important characteristic to distinguish and define the type of foundation. In the context of deep foundations in soils with the presence of rock mass, the indicated foundation is the root foundation. However, to execute this type of foundation, specific techniques and knowledge are required. In order to characterize concepts and describe the execution of root piles in rock massifs and their execution particularities, this work addresses a case study of a real project, the execution of the foundation of a hospital project using this type of foundation, the root pile. The project has plateaus at different levels, with distinct characteristics of the rock massif, but with a unique foundation solution: the root pile. To understand this, the study used the Literature Review of the existing types of piles to then describe the processes of executing the root pile. The case study was able to obtain productivity on the different plateaus of the work, describing the execution of the foundation of the work, classifying the activities on each plateau. With the study, it was possible to understand that on the same terrain, with the same type of foundation, there are different execution characteristics and the use of different solutions. It was possible to describe the difficulties, solutions and consequences of the actions in this stage of execution on the different plateaus, in addition to the preparation of a checklist for the execution of root piles.

**Keywords:** deep foundation; root pile; rock mass; civil construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Execução de estaca Tipo Strauss .....	18
Figura 02 – Execução de estaca Franki .....	19
Figura 03 – Execução de estaca hélice contínua .....	21
Figura 04 – Método executivo de fundações em estaca raiz .....	23
Figura 05 – Perfuratriz sobre esteiras.....	24
Figura 06 – Poeira em suspensão na execução.....	25
Figura 07 – Croqui do terreno com indicação dos Platôs e Níveis .....	28
Figura 08 – Projeto de Fundações do empreendimento .....	29
Figura 09 – Perfuratrizes e compressores de ar .....	31
Figura 10 – Perfuratriz de menor porte .....	32
Figura 11 – Retroescavadeira hidráulica com rompedor e ponteira acoplado.....	33
Figura 12 – Desaterro Platô A .....	34
Figura 13 – Desmonte a frio no Platô A .....	35
Figura 14 – Aterro no Platô A .....	36
Figura 15 – Preenchimento total de argamassa .....	38
Figura 16 – Representação do Teste de Carregamento Dinâmico .....	39
Figura 17 – Execução de Teste PDA .....	40

# SUMÁRIO

<b>1 – Introdução</b> .....	10
<b>2 – Objetivos</b> .....	12
2.1 – Objetivo Geral .....	12
2.1 – Objetivos Específicos .....	12
<b>3 – Revisão Bibliográfica</b> .....	13
3.1 – Estacas .....	13
3.1.1 – Tipos de Estacas: Estacas de Madeira .....	14
3.1.2 – Tipos de Estacas: Estacas Metálicas .....	15
3.1.3 – Tipos de Estacas: de Concreto pré-moldada .....	16
3.1.4 – Tipos de Estacas: Broca .....	17
3.1.5 – Tipos de Estacas: Estaca Strauss .....	17
3.1.6 – Tipos de Estacas: Estaca Franki .....	19
3.1.7 – Tipos de Estacas: Hélice .....	20
3.2 – Estaca Raiz .....	21
3.2.1 – Perfuratriz .....	23
3.2.1 – Compressores de ar .....	25
3.3 – Rochas e Maciços Rochosos .....	26
<b>4 – Estudo de Caso</b> .....	28
4.1 – Relato da Pesquisa .....	28
4.2 – Metodologia e Obtenção de dados .....	30
4.3 – Execução no Platô B .....	31
4.4 – Execução no Platô A .....	33
4.5 – Preenchimento das estacas no Platô A e B .....	37
4.6 – Teste de Carga Dinâmica .....	38
4.7 – <i>Checklist</i> de Execução da Estaca Raiz .....	41
<b>5 – Considerações Finais</b> .....	42
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	43
<b>Apêndice A – <i>Checklist</i> de Execução de Fundação – Estaca Raiz</b> .....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A execução das fundações além de ser a etapa inicial de obra, é a execução dos elementos projetados para receber e transmitir as cargas da edificação e representa uma parcela do valor total da obra. Como qualquer outra etapa de obra, a execução de fundação exige planejamento e controle. O tipo de solo é a primeira característica para distinguir o tipo de fundação a ser utilizado em um determinado empreendimento. Considera-se que a execução das fundações representa uma porcentagem de 3 a 6% do custo total de uma obra, e em geral as perdas financeiras ocasionadas por degradação das estruturas são elevadas.

Os principais tipos de fundação se dividem em dois grupos: fundações superficiais, empregadas em camadas do subsolo imediatamente abaixo da estrutura, e as fundações profundas, quando se necessita recorrer a camadas profundas e resistentes (CAPUTO, 2015).

Em edificações onde as camadas superficiais do solo não apresentam resistência suficiente, são utilizadas fundações profundas. Neste contexto entende-se que fundação profunda é:

elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões (ABNT NBR 6122, 2022, p. 5).

Alguns fatores podem influenciar a escolha do tipo de fundação, sendo um deles a natureza e características do solo. Neste contexto é importante ressaltar a necessidade do estudo do perfil geotécnico do terreno, para uma caracterização correta. Neste estudo, parte do perfil geotécnico do terreno é caracterizado por um maciço rochoso, que é uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, falhas e juntas até se chegar em uma massa de rocha intacta, denominada rocha sã. Devido a estas descontinuidade e falhas do maciço rochoso nota-se a necessidade de utilização de fundações profundas.

Como propõe Velloso (2010, p.224), a estaca-raiz tem “particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos de estacas não podem ser

empregados”, dentre as quais em solos com presença de maciços rochosos, ou rochas.

Com efeito das fundações profundas e em terrenos com maciços rochosos, considera-se válido o estudo das estacas raiz, executadas com utilização de ar comprimido, sendo este tipo de fundação uma solução viável neste tipo de terreno. Com tudo, considera-se também que fundações neste tipo de terreno podem necessitar e intervenção diretamente no maciço rochoso, como a necessidade de corte ou rebaixamento para adequação de cota. Com isso, complementar ao estudo das estacas raiz, considera-se válido também o estudo de técnicas de corte e rebaixamento do maciço rochoso, como Desmonte a Frio, que é o desmonte de rocha quando não é possível a utilização de explosivos.

Desta forma este estudo tem objetivo de, através da explanação das particularidades da fundação em estacas, trazer um estudo de caso de um empreendimento onde o terreno há presença de maciço rochoso, e a solução de fundação adotada foi estaca-raiz. O estudo de caso desta execução tem por objetivo geral descrever e explicar todo o processo executivo desta fundação, sendo o objetivo específico descrever os processos aplicados em cada platô da obra, e criar um *Checklist* de Execução das estacas raiz, abrangendo serviços de Desmonte de rocha.

A natureza deste trabalho é de pesquisa aplicada ao estudo de caso, e descritiva com o desenvolvimento de referencial teórico das técnicas e procedimentos utilizados para uma compreensão dos processos executivos para a elaboração do *Checklist* de Execução da estaca raiz.

De modo geral, o trabalho justifica-se pela abordagem abrangente da execução de fundações da estaca raiz, além da narrativa real de desafios enfrentando no âmbito da construção civil relativos à execução deste tipo de estaca. Nota-se que as soluções aos imprevistos e tomadas de decisão muitas das vezes implicam em outras etapas da obra. O trabalho possibilitará uma narrativa técnica sobre execução com uma abordagem real.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho consiste em caracterizar conceitos e descrever acerca da execução de fundação profunda tipo estaca raiz em terreno com presença de maciço rochoso.

### 2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- Descrever os processos aplicados na execução das estacas tipo raiz em cada platô do empreendimento do estudo de caso.
- Elaborar um *Checklist* de Execução das estacas raiz, para utilização em obra.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Estacas

As estacas são elementos de fundação profunda que em geral suportam cargas resistindo tanto pelo atrito lateral ou de ponta, sendo denominadas por estaca Flutuante ou estaca Carregada de Ponta.

As estacas distinguem-se dos tubulões e caixões, que são também fundações profundas, devido a sua execução ser apenas por equipamentos e ferramentas, sem descida do operário em seu interior em nenhuma fase (ABNT NBR:6122, 2022).

Quanto a penetração da estaca no terreno, esta pode ser vertical, ou inclinada e recebem esforços de compressão, tração e flexão, podendo ser executada por cravação ou escavação. Já em relação ao material, há estacas de madeira, de concreto e estacas metálicas e todos os tipos de estacas utilizadas no Brasil são apresentadas em forma de Anexos na Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 6120:2022.

Conforme Campos (2015) as estacas que ao serem executadas deslocam horizontalmente o solo são chamadas de estacas cravadas de deslocamento e as estacas que ao serem executadas substituem o solo removendo-o são chamadas de estacas escavadas de substituição, reduzindo de algum modo as tensões horizontais geostáticas, porém algumas estacas não propiciam a remoção o solo tendendo a reestabelecer as tensões geostáticas e são denominadas sem deslocamentos. Com isso, Campos (2015) exemplifica os tipos de fundação em estacas pelo Quadro 01, dividindo-as em estacas Pré-moldadas e Moldadas *in-loco*, identificando-as e classificando-as pelos métodos de cravação que pode provocar deslocamento, ou não ou ainda substituição do solo.

**Quadro 01 – Tipos de Estacas**

Estacas	Pré-moldadas	Madeira	de deslocamento
		Concreto	
		Metálica	
	Moldada <i>in loco</i>	Broca	de substituição
		Strauss	
		Franki	de deslocamento
		Hélice	de substituição
		Raiz	sem deslocamento

Fonte: Adaptado de Campos (2015, p. 469)

### 3.1.1 Tipos de Estacas: Estacas de Madeira

As estacas de madeira devem ser de madeira dura, resistente e em peças retas, seu diâmetro pode variar de 18 a 40 cm e com comprimento de 5 a 8 m, normalmente limitado a 12 m com emendas. Mais comumente utilizadas em obras provisórias, no Brasil, a madeira mais utilizada é o eucalipto, já em obra definitivas necessário as chamadas madeiras de lei, como peroba, ipê e aroeira (Campos, 2015).

Conforme descrito na NBR 6122 (ABNT, 2022, p. 37):

As estacas de madeira têm sua carga estrutural admissível calculada, sempre em função da seção transversal mínima, adotando-se tensão admissível compatível com o tipo e a qualidade da madeira, conforme estabelecido na ABNT NBR 7190.

Segundo Campos (2015) “durante a cravação, as cabeças das estacas devem ser protegidas por um anel cilíndrico de aço, destinado a evitar seu rompimento sob os golpes do pilão [...]”, a este processo é dado o nome de percussão.

As estacas de madeira são classificadas como estacas de deslocamento, pois sua cravação no solo é realizada através de um processo que não há a retirada do solo.

A vida útil da madeira é ilimitada, quando mantida permanentemente submersa. No entanto, se estiverem sujeitas a variação do nível d’água apodrecem rapidamente.

### 3.1.2 Tipos de Estacas: Estacas Metálicas

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022, p. 4) a estaca metálica é:

estaca cravada, constituída de elemento estrutural metálico produzido industrialmente, podendo ser de perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos com ou sem costura e trilhos.

Os perfis metálicos podem ser usados únicos ou associados entre si. Os aços mais utilizados seguem os padrões ATM A36 (tensão de escoamento 250Mpa) e A572 Grau 50 (tensão de escoamento 345 Mpa) podendo-se adicionar uma porcentagem de cobre em sua composição para resistência a corrosão atmosférica, conhecido como aço “Corten” (Velloso e Lopes, 2010). As cargas admissíveis para as estacas metálicas variam de 130 kN a 3.700 kN, e sua execução é por cravação através de força exercida por martelo em queda livre, por bate estaca.

O sistema de cravação deve ser dimensionado de forma que as tensões durante a etapa de cravação sejam limitadas a 80% da tensão de escoamento do aço. As estacas metálicas possibilitam a execução mesmo quando o solo apresenta difícil transposição, têm elevada resistência, reduzem as perdas em decorrência da inexistência de quebras, são de fácil emenda e podem ser reaproveitadas.

A forma mais comum de execução se dá pela cravação por percussão livre. Esse método utiliza o bate-estaca de queda livre — um equipamento composto por torre, plataforma, guincho mecânico e martelo. A torre é montada sobre a plataforma, e o guincho mecânico ergue o martelo, que ao ser soltado bate no topo da estaca provocando o seu deslocamento vertical. O guincho mecânico é composto por dois tambores, sendo o segundo responsável pela movimentação e carregamento das estacas. O equipamento pode se movimentar sobre pranchas, esteiras ou rolos e além dos guinchos mecânicos, podendo ser utilizados guindastes adaptados com torres para o martelo de queda livre — que pode ser automático ou vibratório. A torre guia apresenta altura compatível com o comprimento da estaca metálica que será cravada, e os guinchos devem apresentar capacidade de carga adequada ao peso do martelo e da estaca que será erguida.

### 3.1.3 Tipos de Estacas: de Concreto pré-moldado

As estacas de concreto pré-moldado podem ser de concreto armado ou protendido e podem ter seções variadas, como quadrada, ortogonal e circular vazada ou não. Estas estacas devem ser executadas de forma a terem resistência compatíveis com os esforços decorrentes do transporte, manuseio e instalação, além de resistência a solos agressivos.

De acordo com Campos (2015) “nas extremidades das estacas, recomenda-se um reforço da armação transversal para levar em conta as tensões que surgem durante a cravação”.

Velloso e Lopes (2010, p.202) descreve sobre a cravação das estacas:

as tensões de cravação devem ser sempre inferiores a tensão característica do concreto (recomenda-se que sejam inferiores a  $0,8 f_{ck}$ ). Como as tensões de compressão que surgem na cabeça da estaca no momento do impacto são diretamente proporcionais à altura de queda do martelo, para evitar o esmagamento da cabeça da estaca deve-se trabalhar com alturas de queda pequenas, em geral não maiores que 1 m, e adotar amortecedores. Assim, quando a estaca precisa ser cravada a grande profundidade ou penetrar camadas resistentes, devem-se adotar martelos mais pesados (é comum empregar martelos de 40 kN ou mesmo mais pesados em obras em terra).

Geralmente, a forma mais utilizada de cravação das estacas pré-moldadas é por percussão, com bate estaca em queda livre. O equipamento tem uma torre montada sobre uma plataforma, o martelo utilizado é erguido por cabos de aço que são acionados por um guincho mecânico. Normalmente o equipamento se movimenta sobre esteiras ou rolos. Há também guindastes que são adaptados com torres para o martelo de queda livre, vibratório ou automático.

As características de formato, seção, peso pro metro, resistência a tração, capacidade estrutural e comprimento variam de acordo com o fabricante escolhido.

As estacas pré-moldadas de concreto podem ser emendadas, desde que apresentem capacidade de resistência a todas as solicitações que ocorram nelas durante o transporte, cravação e utilização. Estas emendas devem permitir a transferência de esforços de flexão, tração e compressão.

### 3.1.4 Tipos de Estacas: Broca

A norma NBR 6122 (2022, p. 3) define a Broca como “fundação profunda perfurada com trado manual, preenchida com concreto, com comprimento mínimo de 3,0 m, utilizada para pequenas construções, com cargas limitadas a 100 kN”.

As Brocas são recomendadas em terrenos secos, acima do lençol freático para evitar o estrangulamento da estaca. Sua capacidade de carga é de 50 kN a 150 kN com diâmetros de 15 a 25 cm respectivamente.

A execução das estacas Broca é feita manualmente, com auxílio da cavadeira e posteriormente com o trado. Com a cavadeira é executado a escavação inicial até atingir 1 metro de profundidade, após prossegue-se com a escavação com o trado até atingir a cota do projeto. Em alguns projetos especifica-se o apiloamento do fundo da perfuração com um soquete.

A concretagem da estaca Broca deve ser feita no mesmo dia da perfuração, com auxílio de um funil, que orientará o fluxo do concreto. Para estacas Broca não sujeitas a esforços de tração e flexão, ou seja, somente compressão, as barras de aço são posicionadas uma a uma, sem estribos, após a concretagem. Já para estacas Broca submetidas a esforços de tração e momentos a armadura deve ser projetada com estribos e deve ser inserida antes da concretagem.

### 3.1.5 Tipos de Estacas: Estaca Strauss

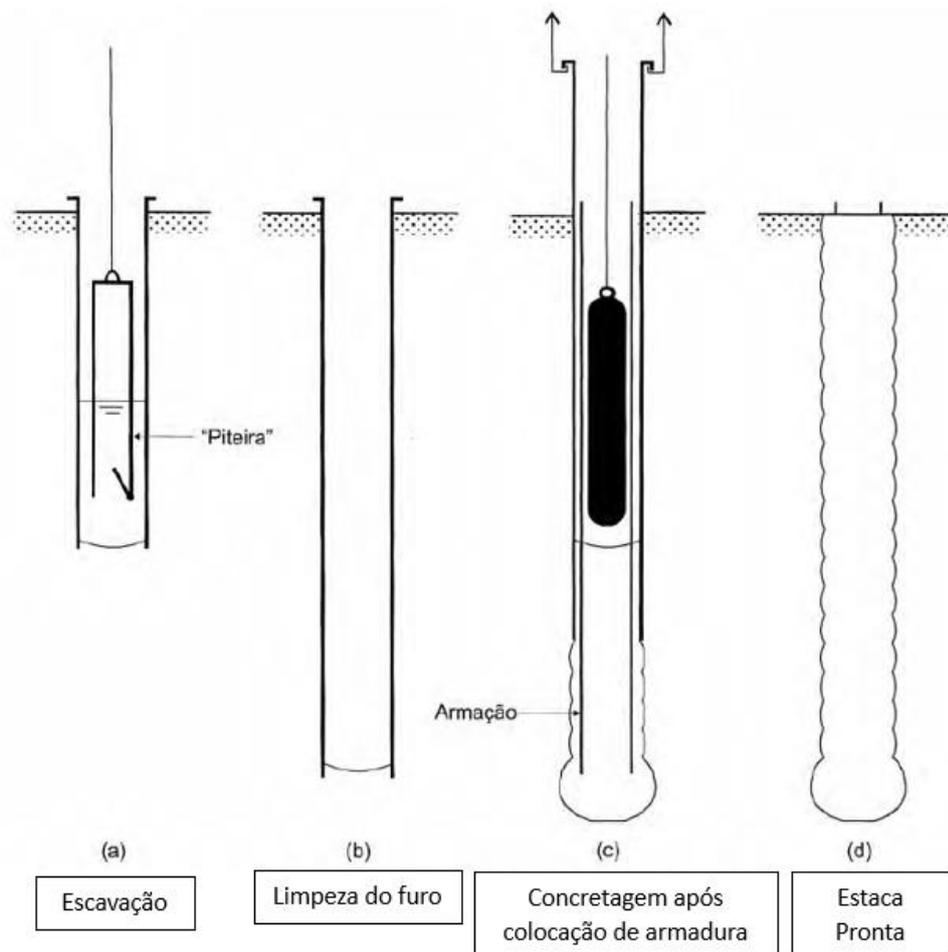
As estacas Strauss são estacas “moldada no solo que requer um equipamento relativamente simples: um tripe com guincho, um pequeno pilão, uma ferramenta de escavação, e tubos de revestimento” (Velloso e Lopes, 2010, p. 205).

As estacas Strauss podem ser armadas ao longo de todo seu comprimento, até com a colocação de estribos de forma que haja espaço suficiente para a passagem do soquete.

A execução da estaca Strauss inicia-se com a introdução do primeiro tubo de revestimento, denominado “coroa”, que possui 4 metros de comprimento e sua extremidade dispõe de um reforço cortante para facilitar a penetração no solo. A medida que a perfuração avança, o revestimento é cravado pelo auxílio da piteira e

de novos tubos que vão sendo rosqueados. A piteira durante o processo é esvaziada virando-a de cabeça para baixo, normalmente para esta limpeza é necessário o auxílio manual de operários com uma alavanca. A perfuração prossegue até a cota estabelecida em projeto, sendo o revestimento cravado até a cota final., para evitar desmoronamento das paredes laterais, além de prover como guia da piteira. Com a finalização da perfuração é colocada a armadura que deve ser dimensionada a permitir a livre passagem em seu interior do soquete. Durante a concretagem é realizado a retirada dos tubos e quando necessário é realizado o adensamento por pancadas de pilão no concreto de forma a preencher completamente a estaca. Velloso e Lopes (2010) ilustram essa execução conforme Figura 01.

**Figura 01 – Execução de estaca tipo Strauss**



Fonte: Figura adaptada de Velloso e Lopes, 2010, p. 206

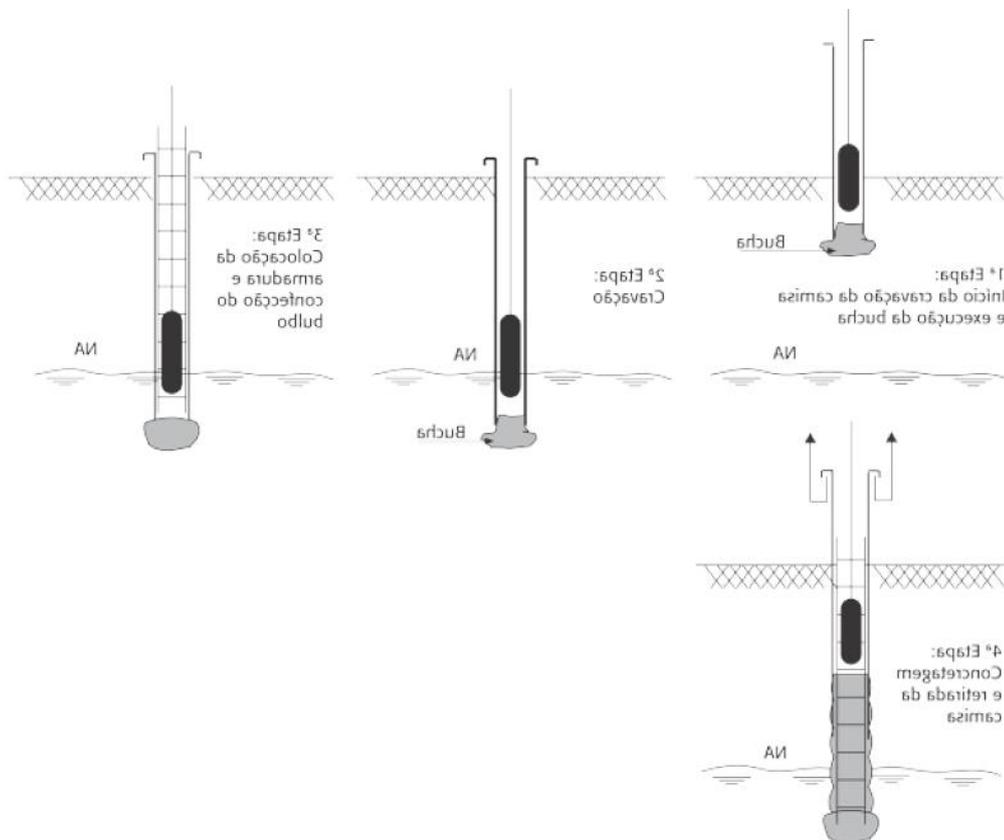
### 3.1.6 Tipos de Estacas: Estaca Franki

A estaca Franki é uma estaca executada por cravação e moldada *in-locu*. Este tipo de estaca vem perdendo espaço nos centros urbanizados devido ao seu processo de execução que causa grandes vibrações nas edificações do entorno.

Segundo a norma NBR 6122 (ABNT, 2022, p. 4) sua execução se dá “por meio de sucessivos golpes de pilão, de um tubo de ponta fechada por uma bucha seca constituída de pedra e areia, previamente firmada na extremidade inferior do tubo de atrito”.

Essas estacas são executadas com o auxílio de bate estaca que realiza a cravação de seus elementos no solo por meio de golpe de um pilão em uma bucha seca. Os equipamentos utilizados necessitam de um espaço considerável no canteiro de obra devido a quantidade e tamanho. O processo de perfuração é considerado demorado e produz vibrações e ruídos. O comprimento de perfuração é limitado pela altura da torre do bate estaca. Campos (2015) ilustra o processo executivo da estaca Franki e segue representado na Figura 02.

**Figura 02 – Execução de estaca Franki**



### 3.1.7 Tipos de Estacas: Hélice

A estaca hélice contínua monitorada é descrita na norma NBR 6122 como:

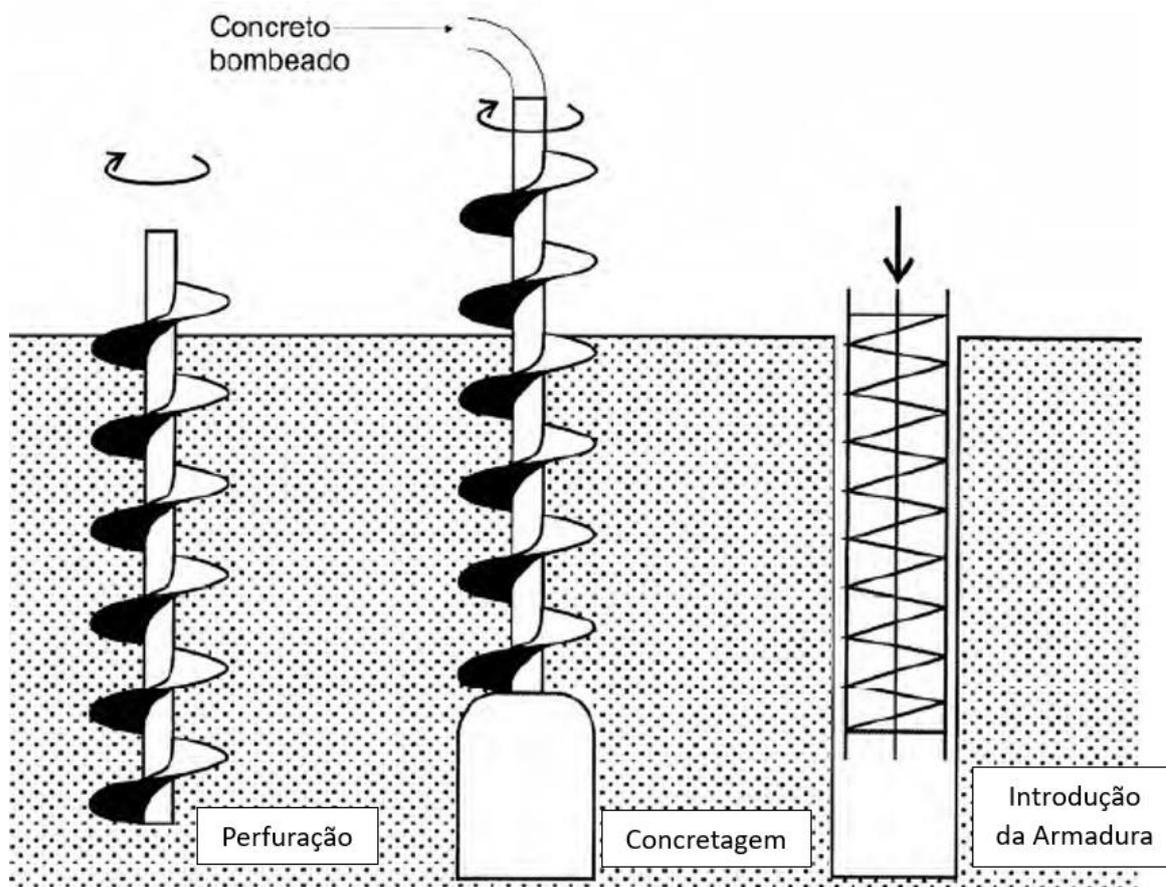
Estaca de concreto moldada in loco, executada mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente à sua retirada, sendo a armadura introduzida após a concretagem da estaca (item 3.18, ABNT, 2022, p. 4).

A execução dessas estacas geralmente é monitorada eletronicamente por meio de um computador ligado a sensores instalados na máquina de perfuração. Como resultado da monitoração, são obtidos os seguintes elementos:

- comprimento da estaca;
- inclinação;
- torque;
- velocidades de rotação;
- velocidade de penetração do trado;
- pressão no concreto;
- velocidade de extração do trado;
- volume de concreto (apresentado em geral como perfil da estaca);
- consumo de concreto (relação percentual entre o volume consumido e o teórico calculado com base no diâmetro informado).

A execução da estaca hélice, ilustrada na Figura 03, inicia-se pela perfuração com a introdução da hélice no terreno, sem que a hélice seja retirada da perfuração em nenhum momento até a cota de projeto. Após alcançada a profundidade desejada o concreto é bombeado através de um tubo central juntamente com a retirada da hélice, neste momento é necessário monitorar a pressão do concreto que é controlada pela velocidade da extração da hélice para garantir que todos os vazios sejam preenchidos. A armadura só é introduzida após a finalização da concretagem e retirada da hélice. A introdução da armadura na estaca é realizada manualmente e pode contar com o auxílio de um peso ou ainda um vibrador.

**Figura 03** – Execução de estaca hélice contínua



Fonte: Figura adaptada de Velloso e Lopes, 2010, p. 227

### 3.2 Estaca Raiz

A estaca raiz é moldada *in loco* e possui alta capacidade de carga, baseada essencialmente na resistência de atrito lateral. Ela é totalmente armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, e sua perfuração é executada por perfuratriz rotativa ou rotopercussiva e em terreno com solo é revestida totalmente por tubos metálicos recuperáveis. Em terrenos com maciço rochoso não se faz necessário a utilização de tubos metálicos, desta forma há uma diminuição do diâmetro da estaca, o que deve ser sempre considerado no dimensionamento pelo projetista de fundações. Para ao entendimento da relação do revestimento com o diâmetro da estaca é possível verificar a Tabela 01.

**Tabela 01** – Características dos tubos de revestimento de acordo com o diâmetro da estaca

Diâmetro final da estaca (mm)	100	120	150	160	200	250	310	410
Diâmetro externo do tubo (")	3	3 1/2	4 1/2	5	6	8	10	14
Diâmetro externo do tubo (mm)	89	102	127	141	168	220	273	356
Espessura da parede (mm)	8	8	9	9,5	11	13	13	13
Peso por metro linear (kg/m)	15	19	28	31	43	65	81	107
Diâmetro do martelo de fundo (")	-	-	3 1/2	3 1/2	5 1/8	7 5/8	9 1/8	9 1/8

Fonte: Décourt *et al.* (1988).

Apresentadas internacionalmente na década de 50, na Itália, essas estacas foram concebidas inicialmente para servir de reforço de fundações, com diâmetros máximos de 20 centímetros. Contudo, com o avanço de novas tecnologias, equipamentos e conhecimento da mecânica dos solos, foi possível aumentar, com segurança, o diâmetro máximo para 40 a 50 centímetros, sendo utilizadas também, como solução de projeto de alguns projetistas, na estabilidade de encostas (DÉCOURT *et al.*, 1998).

As principais características da estaca raiz que realmente solucionam com êxito problemas de fundações reforços e consolidações do terreno são alta capacidade de carga, chegando até 140 tf; possibilidade de execução em áreas restritas e alturas limitadas; perturbação mínima no ambiente circunstante e podem ser executadas em qualquer tipo de terreno e em direções especiais, como inclinadas.

O processo executivo de perfuração é executado por equipamentos mecânicos chamados de perfuratriz e em terrenos que apresente algum material resistente a perfuração, como matacões ou rocha é utilizado uma coroa diamantada, denominada como martelo de fundo.

Como descrito por Caputo (2015, p. 407) “com a evolução do martelo de fundo (*down the hole*) é possível penetrar em rocha sã e qualquer profundidade.”

Essas estacas tem particularidades que permitem sua utilização em casos em que os demais tipos de estacas não podem ser empregados: (1) não produzem choques nem vibrações; (2) há ferramentas que permitem executá-las através de obstáculos tais como blocos de rocha ou peças de concreto; (3) os equipamentos são, em geral, de pequeno porte, o que possibilita o trabalho em ambientes restritos; (4) podem ser executadas na vertical ou em qualquer inclinação (Velloso e Lopes, 2010, p. 224).

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2022) a argamassa de preenchimento da estaca raiz deve ter consumo de cimento igual ou superior a  $600 \text{ kg/m}^3$ , um fator água cimento de 0,5 a 0,6 e o único agregado utilizado é a areia. Para agilidade em obra é utilizado grandes misturadores elétricos, onde o cimento, areia e água são introduzidos manualmente, e a argamassa após mistura é injetada na estaca por mangotes que são introduzidos no interior das estacas perfuradas.

É importante relembrar que, na etapa de perfuração, faz-se uso de água ou ar comprimido, durante rotação do equipamento principalmente para a limpeza da perfuração. Considerando a execução em rocha e maciços rochosos, utiliza-se equipamentos de rotopercussão acionado por ar comprimido. Na Figura 04, é possível visualizar a metodologia de execução da estaca raiz.



Fonte: Site Escola Engenharia, PEREIRA (2018)

### 3.2.1 Perfuratriz

A perfuratriz, Figura 05, é um equipamento mecânico utilizado para a execução da estaca raiz. Este equipamento possui uma haste metálica que em sua extremidade há um material muito duro, chamado pastilha ou martelo, que escava a rocha, perfurando-a; as perfuratrizes são dotadas de esteiras, que as torna autopropelidas.

**Figura 05** – Perfuratriz sobre esteiras.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

As perfuratrizes reproduzem movimentos de percussão e rotação, que ocorrendo simultaneamente e sucessivas vezes permite o avanço da perfuração. O acionamento das perfuratrizes é feito por motor a diesel e por ar comprimido em perfuratrizes com maior potência.

Os movimentos de percussão na haste metálica, são produzidos por um pistão/martelo que se movimenta dentro de um cilindro, acionado para cima e para baixo por impulsão provocada pela entrada de ar comprimido e saída na outra extremidade. Simultaneamente e sucessivamente há um movimento de rotação que permite que o golpe não seja sobre a mesma região que sofreu o golpe anterior.

Com o avanço da perfuração os resíduos da rocha devem ser removidos do furo para evitar o travamento da haste ou redução da eficiência, ou seja, é necessário um sistema de limpeza do furo. Conforme Ricardo (1977, p. 303) o “sistema de limpeza na maioria das perfuratrizes consiste na introdução de água ou ar comprimido, através de um orifício central existente na haste principal”. Nas escavações a céu aberto é normalmente adotada a limpeza com ar comprimido, porém a poeira em suspensão faz necessária a utilização de máscaras para proteção facial, para evitar o depósito destas partículas no pulmão.

**Figura 06** – Poeira em suspensão na execução.



Fonte: Arquivo pessoal (2023).

Como qualquer outro equipamento, a perfuratriz requer atenção quanto a manutenção, evitando avarias ou perda de produtividade. São muitos os problemas que podem ocorrer, por isso necessário a equipe de operação da perfuratriz, um mecânico para realizar as manutenções preventivas, trocas de óleo e peças evitando a paralisação prolongada da perfuratriz.

### **3.2.2 Compressores de ar**

Os compressores de ar são equipamentos necessários para perfuração em maciços rochosos e rocha. Nas perfuratrizes são muitas das vezes necessários para o acionamento, funcionamento e limpeza. Os compressores são máquinas que aspiram o ar da atmosfera e o comprimem, reduzindo seu volume e aumentando a pressão, e são enviados aos equipamentos através de mangueiras flexíveis. A relação do comprimento das mangueiras é um importante dado, pois determinados comprimentos acarretam a perda da pressão do ar, ocasionando diminuição da eficiência.

O acionamento dos compressores é feito por motores elétricos ou motores a diesel, sendo mais comumente utilizado os motores a diesel, que são também compressores portáteis montados sobre rodas para seu deslocamento.

Um aspecto importante dos compressores é o resfriamento que pode ser pela circulação do ar externo ou circulação de água no interior do compressor. Sabe-se que é liberado grande quantidade de calor durante a compressão do ar. Com isso é necessário seguir as instruções de espaço disponível em torno do compressor para que essa troca de ar seja feita efetivamente.

### **3.3 Rocha e Maciços Rochosos**

O termo rocha pode ser associado a derivações do Inglês Arcaico *rocc* (pedra, massa de matéria mineral) e do Francês Arcaico *roque*, utilizados para designar formações rochosas e grandes maciços, em oposição ao termo pedra, utilizado para pequenas porções individuais das rochas.

Em termos geológicos, uma rocha é um agregado consolidado de minerais ou mineraloides que foram intimamente unidos por algum fator geológico, e corresponde a uma grande variedade de materiais que compõem a crosta terrestre. Quanto aos seus constituintes, embora seja coesa, uma rocha via de regra não é homogênea, e seus componentes não apresentam continuidade física como no caso de um mineral monocristalino. Assim, uma rocha pode ser constituída de diversas espécies minerais, daí então denominada pluriminerálica, ser constituída por poucas espécies minerais distintas, denominada assim de oligominerálica, ou ser constituída de apenas uma espécie mineral, sendo então denominada monominerálica.

Desta forma na classificação geológica de presença de rocha em terrenos, podemos denominar rocha, uma massa não interrompida por falhas e por isso sua denominação muitas vezes é de rocha sã.

Já o maciço rochoso entende-se por uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, sob certas condições hidrogeológicas. Descontinuidades são juntas, falhas, contatos litológicos, foliações metamórficas. Assim o maciço é composto por um agregado descontínuo de blocos, com formas geométricas irregulares, alternados com zonas de rocha intemperizadas em graus variáveis e com

propriedades físicas muito diferentes, quando comparadas com a mesma massa de rocha intacta.

A presença de descontinuidades no maciço rochoso é fator principal no controle de sua resistência mecânica e deformabilidade, de tal forma que a resistência de uma massa de rocha depende mais das descontinuidades presentes do que propriamente da resistência das porções intactas da rocha (Fiori e Carmignani, 2009).

A frequência das descontinuidades afeta a qualidade ou resistência do maciço rochoso como um todo. Mesmo a rocha mais resistente, quando intacta, é reduzida a uma massa pouco resistente quando afetada por juntas muito numerosas ou com espaçamento muito denso, ocasião em que o maciço adota um comportamento mais próximo ao de materiais granulares. Por outro lado, quando o espaçamento é grande, o comportamento do maciço rochoso é fortemente influenciado pelas propriedades da rocha intacta, condicionado pelo tamanho dos blocos. (Fiori e Carmignani, 2009).

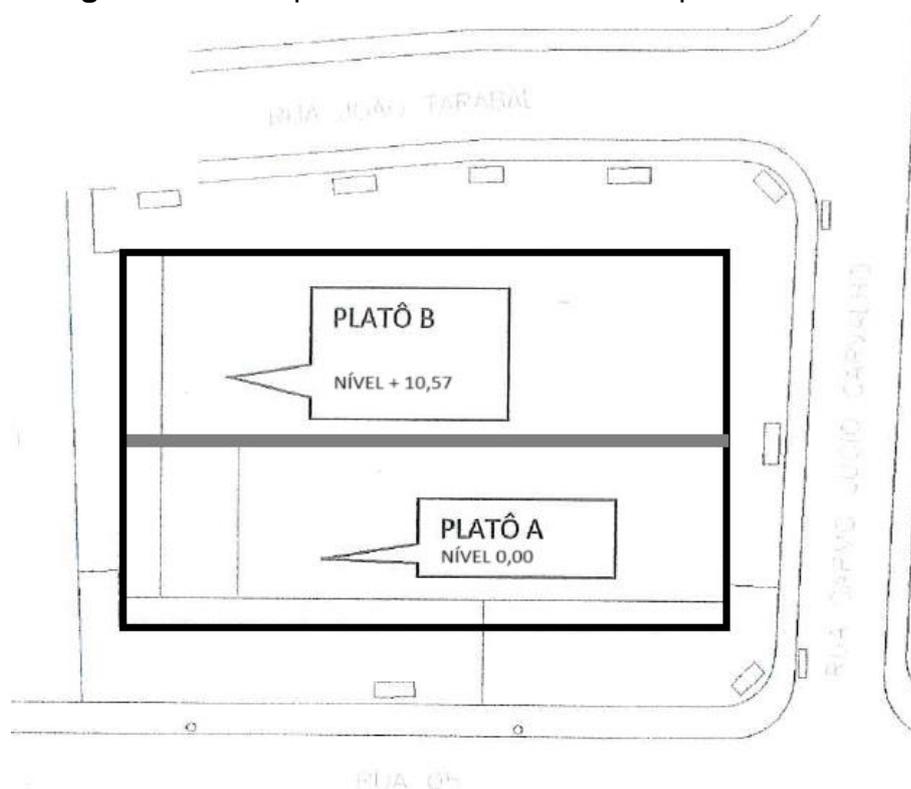
## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1 Relato da pesquisa

A pesquisa é acerca de uma obra em execução para fins hospitalares na região central da cidade de Itaúna, MG. Na etapa de fundação, este estudo irá descrever a execução da estaca raiz e seus serviços complementares em dois platôs em níveis de terreno distintos. Na totalidade foram executadas 206 estacas com profundidade de 8 a 6 m por estaca, e inerente ao serviço de fundação, foram executados trabalhos de desaterro e aterro, desmonte a frio de rocha e testes dinâmicos nas estacas.

O empreendimento do estudo de caso trata-se de uma edificação para instalações hospitalares com área de 7872,76 m<sup>2</sup> em um terreno com área de 3.457,91 m<sup>2</sup>. O terreno se divide em dois platôs que estão em níveis diferentes, sendo o Platô A (platô inferior) no nível 0,00 da obra e o Platô B (platô superior) no nível +10,57m, conforme Croqui da Figura 07. Com fundação da edificação foi projeto a execução da fundação profunda tipo estaca raiz.

**Figura 07** – Croqui do terreno indicando os platôs e níveis

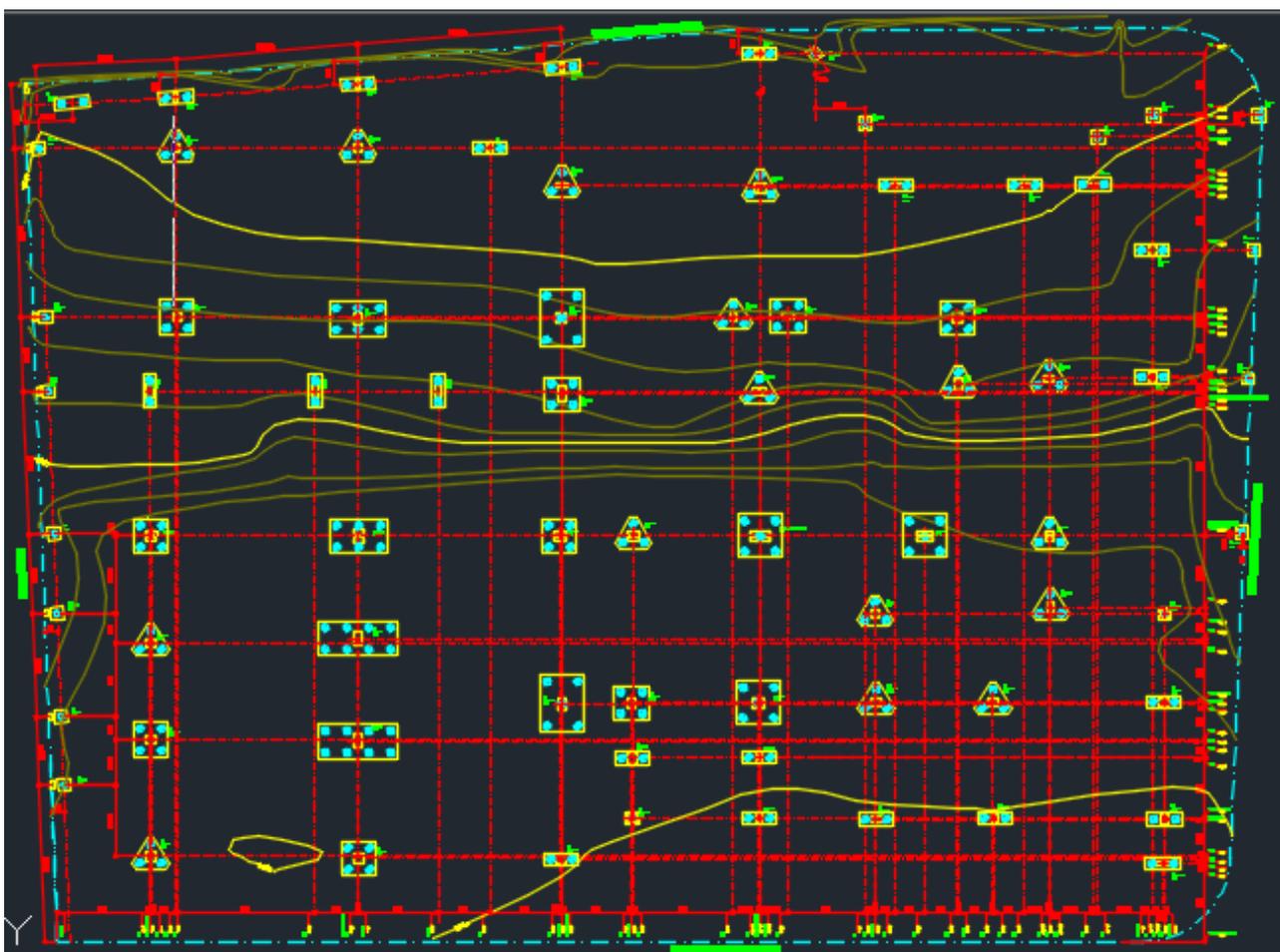


Fonte: Arquivo pessoal (2023).

No Relatório de Sondagem foi diagnosticado que no Platô A se encontra em uma área com rochas implodidas, porém abaixo destas rochas implodidas há rocha com alta resistência e qualidade, sendo possível a execução de fundação direta com pequena escavação em rocha (5 a 10 cm) para embutimento da fundação. Porém no Platô B, foi diagnosticado rochas muito fraturadas que impedem a fundação direta. Após estudos foi sugerido como fundação mais adequada e viável a utilização de estaca Raiz em todo o terreno, evitando-se tipos de fundação diferentes

Com esses dados, além do projeto estrutural de levantamento de cargas da edificação, foi elaborado um projeto de fundações para a execução de estaca raiz. No projeto das fundações, Figura 08, totalizam-se 206 estacas, sendo 117 estacas no Platô A e 89 estacas no Platô B, com diâmetros de 310mm e 410 mm e profundidade de estaca de 8 m. Para o coroamento das estacas há blocos de 1 a 8 estacas.

**Figura 08** – Projeto de fundações do empreendimento



Fonte: Morato, 2023.

Para a execução foi contratado uma empresa de execução de fundação e para atender ao cronograma, foi contratado duas perfuratrizes e dois compressores de ar comprimido. Desta forma, era possível os trabalhos simultâneos de ambas as perfuratrizes, aumentando a produtividade. Para a execução da argamassa foi utilizado um misturador elétrico com capacidade de executar até 3 m<sup>3</sup> de argamassa.

## 4.2 Metodologia e obtenção de dados

A metodologia utilizada neste estudo é descritiva e explicativa. Primeiramente é apresentado a descrição e explicação dos métodos de execução adotado na obra, dividindo-os nos platôs de execução. Em seguida, como objetivo deste estudo é apresentado um *Checklist* de execução de estaca raiz, elaborado a partir das experiências vivenciadas na execução desta obra.

Os dados obtidos foram obtidos pelo acompanhamento da obra em sua fase de execução. Por se tratar de características distintas em cada platô do empreendimento, os processos executivos das estacas foram diferentes.

No Platô A, anterior ao início da execução das estacas foi realizado a retirada das rochas implodidas e substituída por aterro controlado e compactado. Foi necessário, no Platô A, uma implosão de trecho da rocha sã, devido a interferência de níveis de execução de blocos de coroamento. Com isso o perfil para perfuração das estacas, no Platô A, se caracteriza por solo, aproximadamente nos 3 m iniciais e posteriormente rocha sã. Com as atividades de limpeza das rochas implodidas, aterro e explosão de trecho de rocha sã, a execução das estacas no Platô A foram iniciadas posteriormente a execução das estacas do Platô B.

No Platô B, a rocha sã ou maciço rochoso é aparente, sendo o perfil para perfuração totalmente em rocha, com isso a execução iniciou-se primeiramente neste platô. Todas as estacas foram identificadas e marcadas em terreno por equipe de topografia com a utilização de estação total.

Para o descritivo em cada platô foi consultado Diário de Obras, Projetos e Relatório emitidos pela equipe técnica da obra. Os dados de produtividades foram baseados nas fichas de execução das fundações elaborada pela equipe de execução.

### 4.3 Execução no Platô B

A execução da perfuração das estacas foi realizada com a perfuratriz percussiva que executa a perfuração através de movimentos de percussão sucessivas e rotação com a introdução de ar comprimido para limpeza. Neste platô utilizou-se simultaneamente duas perfuratrizes. Para o ar comprimido foi utilizado dois geradores, com funcionamento a diesel, que era acoplado as perfuratrizes por mangotes limitados a uma extensão de 20 m de comprimento, extensão recomendável para se evitar perda da eficiência do ar comprimido. Na Figura 09, é uma foto da execução da estaca raiz em paralelo com duas perfuratrizes no Platô B em o compressor de ar, equipamento amarelo ao lado da perfurtriz.

**Figura 09** - Perfuratrizes e compressor de ar.



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

Para cada perfuratriz havia uma equipe de 4 funcionários, onde 1 funcionário é o operador da perfuratriz e o restante auxiliares. Neste platô a rocha são se apresentava tão superficialmente, que não foram utilizados tubos metálicos na perfuração, dispensando os trabalhos manuais de colocação e retirada dos tubos da equipe de auxiliares. Apesar da dinâmica da execução ter a eliminação dos trabalhos

com encamissamento, a perfuração de toda a profundidade diretamente em rocha torna o trabalho moroso e desgastante para os componentes mecânicos da perfuratriz, principalmente do martelo de fundo. A produtividade diária era de 1 estaca, e houve vários problemas envolvendo necessárias paradas para troca de martelo de fundo e manutenção do compressor de ar comprimido. A execução de 89 estacas do platô durou 107 dias trabalhados, representando uma produtividade de 0,83 estacas por dia.

Durante a execução notou-se que diferente do apresentado nos relatórios de sondagem a cota da rocha sã neste platô era exatamente a mesma cota do piso da edificação, tornando a execução dos blocos de coroamento necessária em rocha. Após estudo conclui-se que o trabalho de escavação dos blocos na rocha não poderia ser por desmonte a frio, pois mesmo com a diminuição das vibrações com este tipo de execução, qualquer vibração neste platô poderia invalidar a execução das estacas. Com isso optou-se por, através da contratação de uma empresa especializada, executar escavação dos blocos com o auxílio de uma perfuratriz de menor porte, Figura 10, e uma retroescavadeira hidráulica com rompedor acoplado, Figura 11, que quebrou a rocha em torno das estacas para garantir a seção dos blocos e vigas de travamento. Este trabalho além de moroso, não havia sido planejado nem orçado, sendo ele um desvio de orçamento e prazo.

**Figura 10** – Perfuratriz de menor porte.



Fonte: Arquivo pessoal (2024)

**Figura 11** – Retroescavadeira hidráulica com rompedor e ponteira acoplado.



Fonte: Arquivo pessoal (2024)

#### **4.4 Execução no Platô A**

Precedente a execução das estacas foi necessário a execução de alguns trabalhos no Platô A, para possibilitar a execução da perfuração das estacas. O lote em questão, anterior a aquisição pelo proprietário e contratante da obra, havia passado por um processo de exposição de maciço rochoso, para possibilitar que o Platô A estivesse no nível da rua, criando-se assim um acesso à avenida principal do bairro. Com poucos registros desta execução o antigo proprietário informou que a explosão foi realizada em meados de 2017, com o sistema de explosivos de dinamite acoplados na rocha, resultado em um desmonte de grande parte da rocha neste terreno. Com presença de rochas explodidas ainda no terreno em uma profundidade de aproximadamente 3m abaixo do nível da rua foi iniciado um plano de desaterro, Figura 12, para posterior reaterro. A retirada destas rochas se fazia necessário devido a presença de grandes blocos de rocha que poderia desviar o furo da estaca ou

impossibilita a execução dos blocos de coroamento. Este trabalho foi executado com 2 Retroescavadeiras e 1 Pá Carregadeira, além de caminhões de bota fora.

**Figura 12 – Desaterro Platô A**



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

No decorrer dos trabalhos de desaterro, em parte do terreno foi constatado a rocha sã, sem fragmentos em uma profundidade de 1 m abaixo do nível da rua, o que era um problema, uma vez que os blocos de coroamento desta região haviam sido projeto com 2,10 m de profundidade. Para possibilitar a execução dos blocos de coroamento neste trecho, optou-se pelo desmonte a frio com a implosão de parte da rocha sã.

Em áreas urbanas e adensadas o explosivo convencional é proibido, necessitando de licenças especiais. Porém em alguns casos de obras de fundação em maciços rochosos há a necessidade de fragmentação ou corte da rocha sã. Dentro desta necessidade há a um método chamado Desmonte a frio, que inclui a utilização de argamassa expansiva, ou métodos de propagação de gases não tóxicos, como o sistema Rompex ou Pyroblast.

O processo inicial segue as mesmas características de execução, sendo necessário furos na rocha tanto para injetar a massa expansiva ou para injetar o Rompex/Pyroblast. Porém cada produto age de forma diferente. A massa expansiva, em geral leva de 20 a 24 horas para reagir e fissurar a rocha e o desmonte da rocha necessitará de um martelo rompedor para demolir os fragmentos maiores. Já o

sistema Rompex/Pyroblast, trata-se de uma capsula que é um cilindro preenchido com composto químico pirotécnico que gera um volume de gases capaz de fragmentar a rocha em baixa velocidade de detonação, baixa propagação de onda vibratórias e ruídos, tendo o resultado do desmonte imediatamente após usa detonação.

Este trabalho foi executado por empresa especializada, que realizou a detonação do afloramento rochoso através da inserção de cápsula Rompex em furos executados em toda a extensão desejada da rocha, sobre as cápsulas e sobre a rocha foi colocado 10 caminhões de solo para uma explosão contida sem a possibilidade de lançamentos nos arredores. A profundidade da perfuração para inserção das cápsulas é a profundidade necessária de detonação mais 20 cm.

Na figura 13 é possível ver o momento exato do acionamento das cápsulas, que instantaneamente rompe a rocha, provocando um deslocamento do solo sobre a rocha, o processo é rápido e após o acionamento e retirada do solo é possível verificar o rompimento da rocha.

**Figura 13** – Desmonte a frio no Platô A.



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

Após a retirada de rochas explodidas já presentes no terreno e o desmonte de parte da rocha sã, foi executado o reaterro compactado e controlado, Figura 14, da área de projeção da edificação do Platô A.

**Figura 14 – Aterro no Platô A.**



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

A execução da perfuração das estacas no Platô A foi realizada com perfuratriz percussiva com o auxílio do compressor de ar comprimido. Neste platô, com o aterro já executado foi necessário o encamissamento do trecho com solo e no trecho em rocha a perfuratriz continuava a perfuração sem necessidade dos tubos metálicos. Apesar da dinâmica da execução ter o acréscimo dos trabalhos de encamissamento, a perfuração das estacas neste platô foi mais ágil, chegando a executar até 3 estacas por dia, por perfuratriz. Porém o período de execução destas estacas se deu em período chuvoso, entre dezembro e janeiro, o que paralisou diversas vezes os trabalhos além das manutenções constantes nas perfuratrizes. O prazo de execução das 117 estacas neste platô teve duração de 114 dias, representando uma produtividade de 1,02 estacas por dia.

## 4.5 Preenchimento das Estacas no Platô A e B

As estacas após sua perfuração devem ter a introdução da armação em toda a sua extensão e preenchidas com argamassa. As armaduras das estacas foram armadas e entregues prontas na obra. A introdução da ferragem é feita pela própria perfuratriz, que suspende a armadura e a posiciona no furo, introduzindo-a na estaca.

Para a execução da argamassa foi utilizado o traço do Quadro 02. Os elementos do traço foram introduzidos no misturador elétrico que por acionamento manual bombeia a argamassa para o interior da estaca através de um mangote que é introduzido totalmente na extensão da perfuração da estaca. É necessário a introdução do mangote até a cota final de perfuração para que se houver água dentro da estaca a mesma é expulsa com a introdução da argamassa, sem que esta água contamine a mistura da argamassa. É recomendado que se preencha com argamassa além da cota de arrasamento para garantir uma estaca sem contaminação no seu topo, sendo necessário, posteriormente junto a execução dos blocos, o arrasamento da cabeça da estaca.

**Quadro 02** – Traço de argamassa das estacas.

Materiais constituintes	
Cimento	Cimento CP II – E32
Areia natural	Fornecedor areal
Água	Disponível canteiro de obras
Aditivo plastificante	

Materiais	Traço por 1 m <sup>3</sup> (kg)	Traço Unitário	P/ 1 saco cimento (kg)	P/ 1 saco cimento (litros)	Números de padiolas	Altura padiola (H = cm)	Largura x comprimento x litros (padiola)
Cimento	650	1,000	50	-	1 sc 50kg		
Areia	1190	1,983	99,17	82,39	2	26	L/C = (35x45)cm
Água	325	0,56	25,00	25,00	-		26
Aditivo		-	-	-	-		

Fonte: Arquivo pessoal (2023)

**Figura 15 – Preenchimento total de argamassa.**



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

## 4.6 Ensaio de Carregamento Dinâmico

O ensaio de carregamento dinâmico tem por objetivo avaliar as características dinâmicas do sistema solo-estaca, as cargas mobilizadas nesta interface, a eficiência do sistema de impacto, tensões de compressão e de tração ao longo da estaca.

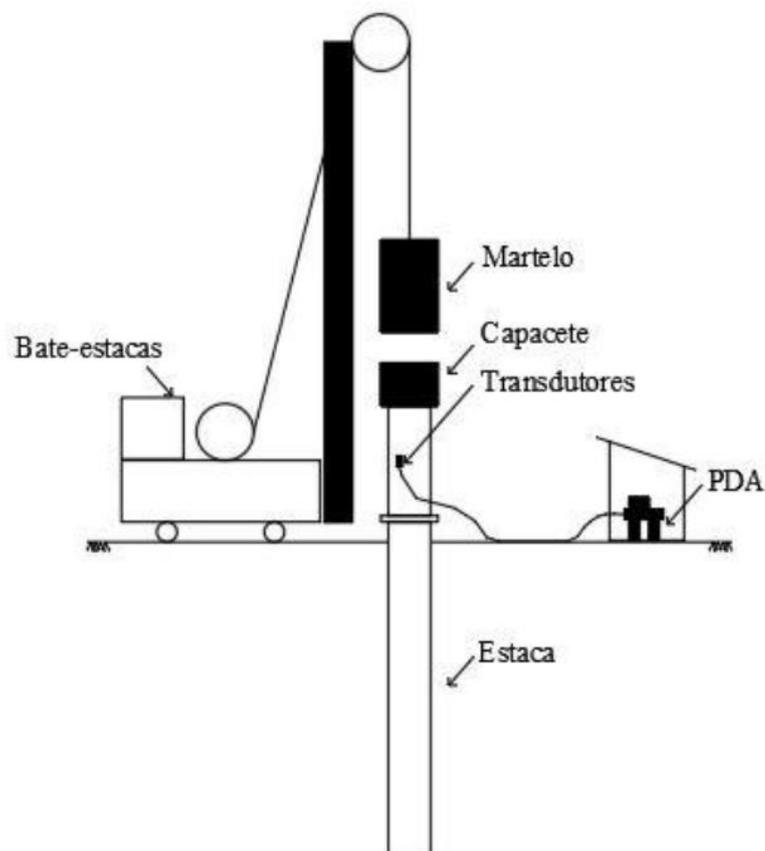
No ensaio de carregamento dinâmico, cujo procedimento executivo é especificado pela NBR 13208 (ABNT, 2007), o comportamento da estaca submetida a um carregamento dinâmico é interpretado teoricamente com base na teoria da equação da onda, de modo a possibilitar a avaliação da capacidade de carga. Por meio da instrumentação utilizada na prova de carga dinâmica, também é possível verificar a integridade da estaca (Cintra, *et al.* 2013).

Logo no início da execução das estacas, foi notado uma morosidade muito grande de execução. Além disso foi notado a dificuldade imposta a perfuração devido a profundidade de execução, com isso manutenções e paralisações eram frequentes. A equipe técnica da obra iniciou um estudo junto com os projetistas e empresa

executora da fundação em busca de uma solução para diminuição da profundidade da estaca. Após reuniões técnicas com outros profissionais e consulta a uma empresa especializada em testes em fundações, optou-se por executar o Teste PDA – Teste de Carregamento Dinâmico. Para a execução do teste, foi executado duas estacas “perdidas” com profundidade de 6 m, uma em cada platô, e foi determinado mais 3 estacas da obra já executadas e com profundidade de 8 m. As denominadas estacas “perdidas” não faziam parte do projeto e da estrutura, uma vez que poderiam ser reprovadas e foram executadas com profundidade inferior a indicada no projeto.

O Teste consiste na aplicação de energia cinética no topo da estaca, através de golpes de martelo de peso, capaz de gerar deslocamentos permanentes da estaca, variando sua altura de queda e de forma crescente, até os limites das tensões dinâmicas da estaca e mobilização da carga máxima na interação estaca-solo, monitoradas por sensores instalados na estaca.

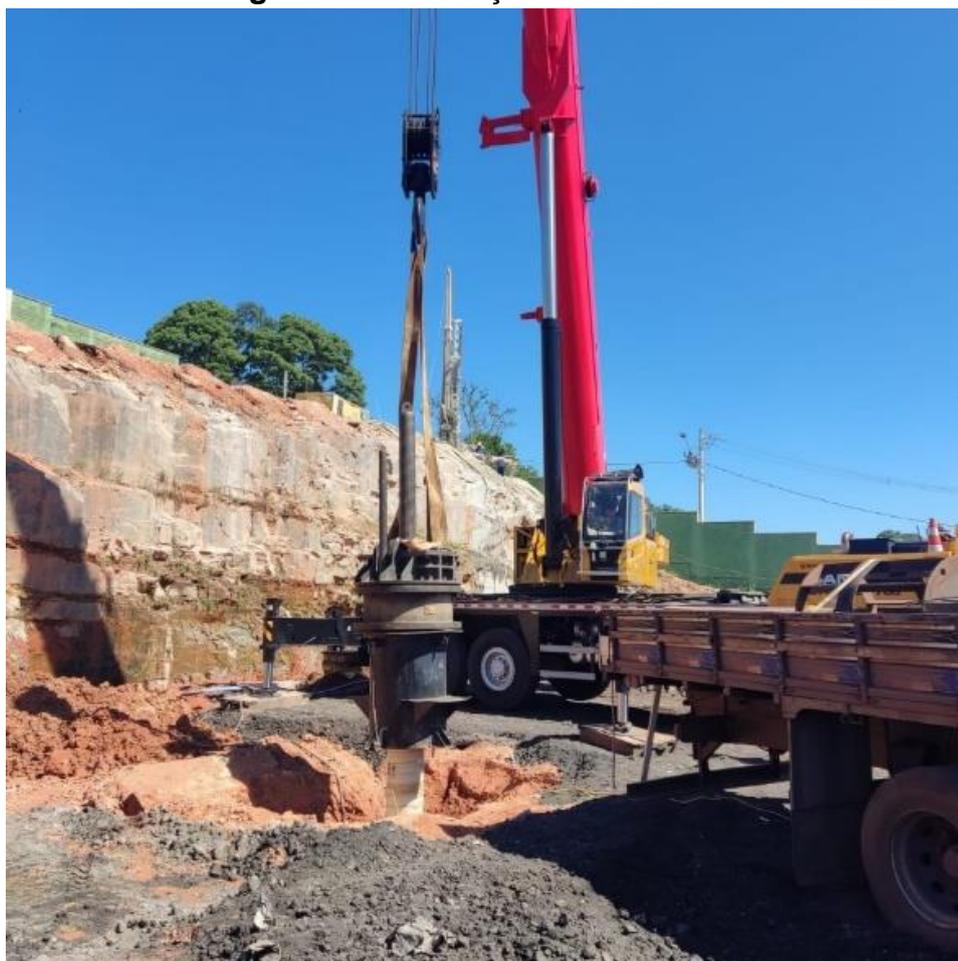
**Figura 16** – Representação do Teste de Carregamento Dinâmico



Fonte: Cintra, *at el.* (2013).

Com o resultado foi diagnosticado que mesmo com a aplicação de golpes nas estacas, tanto as estacas perdidas, quanto as estacas de projeto, não apresentaram deslocamento consideráveis, podendo a partir deste resultado adotar a execução de estacas com profundidade de 6 m, otimizando a execução. No total foram executadas 95 estacas com 8 m e 111 estacas com 6 m. É possível ver a Figura 17 imagem da execução do Teste PDA em uma “estaca perdida” no Platô A.

**Figura 17** – Execução de Teste PDA.



Fonte: Arquivo pessoal (2023)

## **4.7 Checklist de Execução da Estaca Raiz**

Como objetivo deste estudo foi elaborado um *Checklist* da Execução da estaca Raiz com as soluções adotadas em problemas identificados nesta execução. O intuito da elaboração deste *Checklist* é servir de orientação na execução possibilitando uma ágil verificação de alguns requisitos importantes.

O *Checklist* completo encontra-se no Apêndice A – *Checklist* de Execução de Estacas Tipo Raiz.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que a execução das estacas tipo raiz em terrenos com presença de rocha e maciço rochoso, neste estudo de caso, apresentou várias dificuldades executivas. Um dos problemas apresentados foi a impossibilidade de adequação de cotas no terreno sendo necessário intervenções onerosas e morosas em rocha. Com a rigidez dos projetistas em adaptar soluções viáveis e exequíveis foi necessário estudos para buscar melhores soluções sem modificar as premissas de projeto, como os níveis da edificação, profundidade de escavação das estacas e execução de blocos em rocha.

Mas foi possível entender apesar do mesmo tipo de fundação, em um terreno com grandes proporções de área é possível ter características distintas de execução e necessidade do emprego de soluções diferentes.

Com o objetivo de auxiliar na execução deste tipo de fundação e apresentar algumas dificuldades e soluções, foi possível elaborar um *Checklist* Básico de Execução da estaca raiz.

Com isso é possível concluir que a execução de fundações profundas em terreno com maciço rochoso apresenta particularidades e dificuldades específicas. Foi possível descrever estes desafios propondo um entendimento maior da execução e possibilitando a elaboração do *Checklist* que auxilia na execução deste tipo de estaca tendo sua aplicação em terrenos com maciço rochoso ou não.

Muitos conhecimentos vão além do estudo das fundações, exigindo do engenheiro executor conhecimentos dos equipamentos, testes disponíveis, e métodos não usuais para resolução de problemas técnicos que surgem durante a execução.

Sem o objetivo de esgotar o assunto, o estudo traz a importância de descrever os desafios em obra para propor um entendimento maior da execução e contribuir para futuras pesquisas neste assunto tão amplo, tanto de execução, tipo de solo e equipamentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundação**. Rio de Janeiro, 2022.

CAMPOS, João Carlos de. **Elementos de fundação em concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, José Marinho de Azevedo. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra: volume 2**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CINTRA, José Carlos A., *et al.*, **Ensaaios estáticos e Dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende Lopes. **Fundações, Critérios de projeto, Investigação do subsolo, Fundações superficiais e Fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PEREIRA, Caio. **Estaca Raiz: Características, Processo Executivo, Vantagens e Desvantagens**. Escola de Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-raiz/> . Acesso em: 20 de maio 2024.

RICARDO, Hélio de Sousa; Catalani, Guilherme. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

**APÊNDICE A – Checklist de Execução de Fundação - Estaca Raiz**

INSERIR LOGO  
DA  
CONSTRUTORA

## **CHECKLIST DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO - ESTACA RAIZ - EM MACIÇO ROCHOSO**

### **1 – LOCAÇÃO DAS ESTACAS**

- Localizar estacas no terreno garantindo sua localização correta, de preferência com Equipe de Topografia
- Para garantir que as locações não se percam, pois a perfuratriz é um equipamento grande e pesado que se move por esteiras, realizar locações graduais seguindo criando-se sequências executivas.

### **2 – PERFURTARIZ**

A Perfuratriz é um equipamento robusto, seu funcionamento é a diesel. Sempre que possível exigir da empresa o plano de manutenção do equipamento o a presença de um mecânico para evitar paradas excessivas.

- Solicitar se possível um mecânico junto a equipe de execução.
- Programar com equipe paradas de manutenção preventiva e verificação visual diária do equipamento para evitar paradas prolongadas.

### **3 – COMPRESSORES**

Os compressores de ar são equipamentos acionados por motores elétricos ou motores a diesel e são interligados a perfuratriz, para perfuração em rocha, por mangueiras flexíveis.

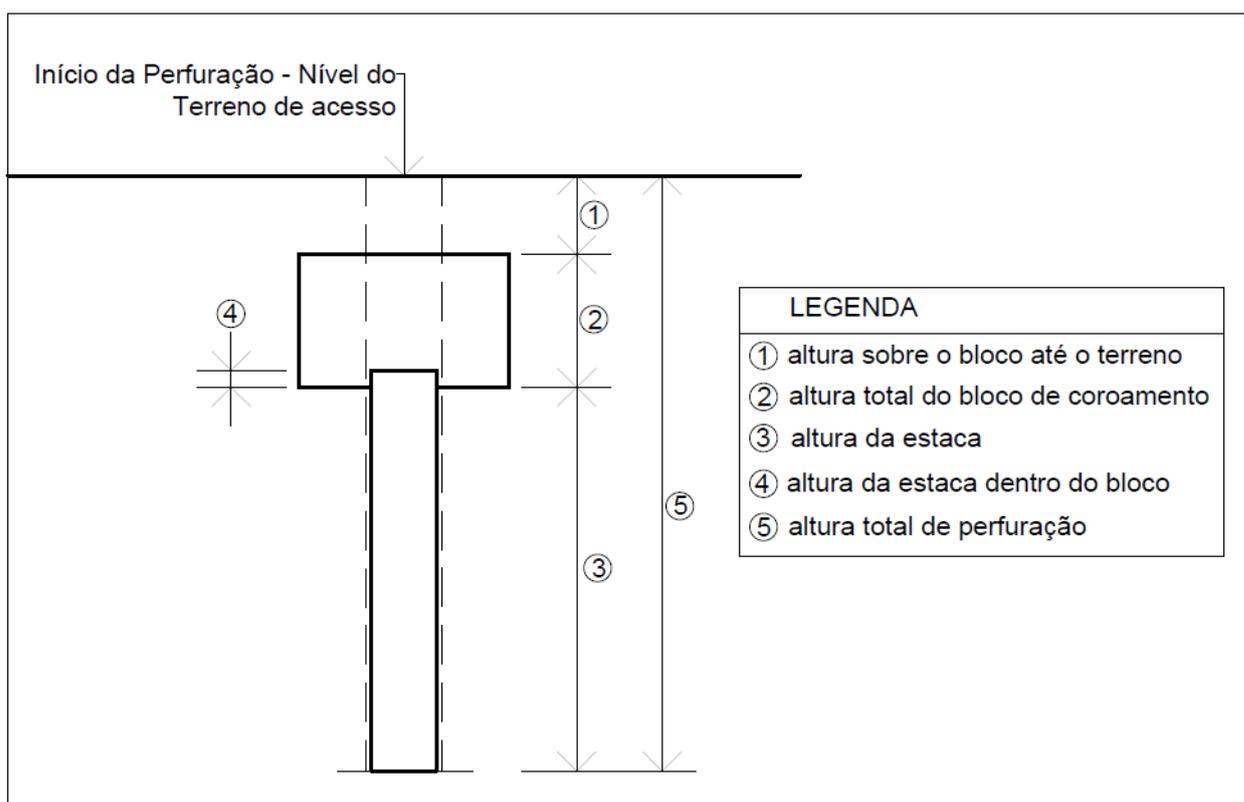
- Verificar junto a empresa da perfuração capacidade do compressor, estes dados são fornecidos em pcm, ou kg/ cm<sup>2</sup>.
- Se for motor elétrico, verificar disposição de energia elétrica na obra, fase e voltagem.
- Se for motor a diesel, programar e disponibilizar abastecimento em obra.
- verificar local disponível em canteiro para locação do compressor de forma a garantir circulação de ar necessária e de preferência longe de lugares como a Área de Vivência do Canteiro de Obra (como Refeitório, Vestiários, Escritórios e Almoxarifado).

## 4 – PERFURAÇÃO DAS ESTACAS

A perfuração das estacas em rocha é executada mecanicamente com a utilização de perfuratriz e compressor de ar.

Definir profundidade de escavação:

$$\text{PROFUNDIDADE total (5)} = 1+2+3-4$$



Definir perfil do terreno na profundidade de escavação:

SOLO + ROCHA: necessário tubos metálicos para encamisar a perfuração no trecho de rocha.

ROCHA: perfuração sem a necessidade de encamissamento com tubos metálicos.

Quando não há a utilização de tubos metálicos há uma diminuição do diâmetro da estaca, que deve ser considerado no dimensionamento da estaca - verificar em projeto.

Em caso de chuvas com incidência de raios, os trabalhos devem ser paralisados. A haste metálica da perfuratriz pode ser um condutor, colocando em risco a vida do operador.

## PREENCHIMENTO DAS ESTCAS

### 5 – ARMADURA

- As estacas são armadas totalmente em sua profundidade. Conferir armadura antes da introdução na estaca.
- Após a inserção da armadura conferir cota final da armadura dentro do furo, garantindo posição correta da armadura da estaca.

### 6 – ARGAMASSA

- A argamassa da estaca raiz deve ter consumo de cimento igual ou superior a 600 kg/m<sup>3</sup>, um fator água cimento de 0,5 a 0,6 e o único agregado utilizado é a areia.
- Garantir que os insumos da argamassa (areia e cimento) estejam em obra, ou contratar bombeamento da argamassa.
- A estaca deve ser preenchida até o início da perfuração, ou seja, além da cota de arrasamento da estaca, para garantir um topo de estaca sem contaminação.
- Para a execução dos blocos, executar o arrasamento da cabeça da estaca.

INSERIR LOGO  
DA  
CONSTRUTORA

## ALGUNS PROBLEMAS E SOLUÇÕES ADOTADAS

### 1 – PRESEÇA DE ROCHAS FRATURADAS OU EXPLODIDAS EM TERRENO

A presença de rochas fraturas ou explodidas no local de execução de perfuração de estacas pode ser um problema pois: pode desviar o ângulo de perfuração da estaca, pode ocasionar o fechamento do furo em execução causando perda na perfuratriz e pode dificultar a execução de bloco de coroamento.

- Executar a retirada total das rochas fragmentadas.
- Após retirada executar aterro compactado e controlado no local.

### 2 – NECESSIDADE DE FRAGMENTAÇÃO DE ROCHA

Em áreas urbanas e adensadas é proibido o uso de explosivo convencional.

- Antes da execução das estacas: utilizar argamassa expansiva, ou Sistema Rompex/Pyroblast.
- Após a execução das estacas: fragmentação da rocha com perfuratriz e rompedores hidráulicos, para evitar vibrações na fundação.

## **2 – TESTES EM FUNDAÇÃO ESTACA RAIZ**

- De acordo com a ABNT NBR 6122:2022, é obrigatória a execução de provas de carga estáticas de desempenho, no decorrer do estaqueamento, no caso de estaca raiz, em obras que tiverem um número de estacas superior a 75 estacas.
- Para comprovação de desempenho, as provas de carga estáticas à compressão podem ser substituídas por ensaios de carregamento dinâmico, conforme ABNT NBR 13208, na proporção de cinco ensaios de carregamento dinâmico para cada prova de carga estática, conforme ABNT NBR 12131.
- Para estacas raiz com número de estacas de 75 a 150 estacas a substituição por ensaio de carregamento pode ser total, acima de 150 estacas raiz é obrigatório pelo menos uma prova de carga estática.