

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

Pedro Henrique Liz de Almeida Sant'Ana

**EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES UTILIZANDO A ESTACA HÉLICE CONTÍNUA
MONITORADA: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HABITACIONAL**

Belo Horizonte
2023

Pedro Henrique Liz de Almeida Sant'Ana

**EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO EM HÉLICE CONTÍNUA: ESTUDO DE CASO EM
EMPREENDIMENTO HABITACIONAL**

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 Tecnologia na construção civil.

Orientador(a): Professor Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Belo Horizonte
2023

S232e Sant'Ana, Pedro Henrique Liz de Almeida.
Execução de fundação em hélice contínua [recurso eletrônico] :
estudo de caso em empreendimento habitacional / Pedro Henrique Liz de
Almeida Sant'Ana. - 2023.
1 recurso online (47 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Anexos: f. 41.

Bibliografia: f. 39-40.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Fundações (Engenharia). 3. Estacaria
(Engenharia civil). 4. Perfurações. 5. Estacas de concreto.
6. Empreendimentos. 7. Projetos de engenharia. I. Magalhães, Aldo
Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: PEDRO HENRIQUE LIZ DE ALMEIDA SANT'ANA

MATRÍCULA: 2022671125

RESULTADO

Aos 27 dias do mês de junho de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES UTILIZANDO A ESTACA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA: ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO HABITACIONAL"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 7,9

CONCEITO: C

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Danielle Meireles de Oliveim

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 27 de junho de 2023

Coordenador do Curso

F. of. Antonio Neves
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar soluções para problemas na execução da estaca hélice contínua monitorada, assim como analisar o comportamento da estaca a partir das perfurações, apresentando técnicas que possam ser utilizadas caso encontrem dificuldades na perfuração. Buscar-se-á também avaliar as alterações verificadas entre orçamento previsto e o orçamento real, decorrente de imprevistos que surgem durante o processo executivo. Os dados apresentados no trabalho foram obtidos na execução de fundação em estaca hélice contínua em um empreendimento situado no município de Vespasiano/MG. Será apresentado uma revisão bibliográfica sobre os tipos de fundações existentes: superficial e profunda e, em seguida, será apresentada uma explanação sobre os métodos executivos destas estacas, abordando desde a sua perfuração até a sua concretagem. Esta pesquisa terá uma abordagem exploratória, e apresentará o acompanhamento de todo processo executivo da fundação do Empreendimento Arnaldo Patrus. Como resultado deste trabalho, analisou-se a confiabilidade dos métodos utilizados, além das viabilidades técnicas executivas empregadas neste tipo de estaca. Foi possível utilizar de métodos não convencionais para solução dos problema ali encontrados, e as soluções para resolução das dificuldades encontradas.

Palavra-chave: hélice contínua; fundações; estacas; método executivo.

ABSTRACT

This study aims to analyze solutions to problems in the execution of the monitored continuous helix pile, as well as to analyze the behavior of the pile from drilling, presenting techniques that can be used if difficulties are encountered during drilling. An attempt will also be made to evaluate the changes observed between the forecast budget and the actual budget, resulting from unforeseen events that arise during the executive process. The data presented in the work were obtained during the execution of a continuous helix pile foundation in a project located in the municipality of Vespasiano/MG. A bibliographical review will be presented on the types of existing foundations: superficial and deep, and then an explanation will be presented on the executive methods of these piles, covering everything from their drilling to their concreting. This research will have an exploratory approach, and will present the monitoring of the entire executive process of the founding of the Arnaldo Patrus Enterprise. As a result of this work, the reliability of the methods used was analyzed, in addition to the executive technical feasibility used in this type of pile. It was possible to use unconventional methods to solve the problems found there, and solutions to resolve the difficulties encountered.

Keyword: continuous helix; foundations; piles; executive method.

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sondagem SPT.....	16
Figura 2- Amostragem de solo	17
Figura 3- Fundação superficial e fundação profunda	18
Figura 4- Execução de Estaca Strauss	19
Figura 5- Etapa e execução de estaca Strauss.....	20
Figura 6- Etapas de execução de tubulão a céu aberto	22
Figura 7- Processo executivo de estaca pré-moldada.....	23
Figura 8- Forma preparada para concretagem de uma estaca SCAC.....	24
Figura 9- Equipamento de bate estaca.....	25
Figura 10- Fases de execução de estaca Hélice contínua	26
Figura 11- Execução da perfuração	28
Figura 12- Fases de execução da estaca hélice contínua.....	29
Figura 13- Inserção de estaca por gravidade	30
Figura 14- Computador de bordo sistema (SACI).	32
Figura 15- Projeto de fundações.	33
Figura 16- Escavação com retroescavadeira	35
Figura 17- Pedregulhos.....	36
Figura 18- Aterro e remarcação	36
Figura 20- Projeto de fundações Rev2.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Quadro resumo de consumos	37
Tabela 02- Quadro resumo de consumos	38

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
3. Revisão Bibliográfica	13
3.1 Ensaio SPT.....	13
3.1.1 Processo de execução.....	14
3.2 Categoria de Fundação.....	17
3.3 Estaca Strauss.....	17
3.3.1 Dimensionamento.....	20
3.3.2 Perfuração.....	20
3.3.3 Concretagem.....	20
3.3.4 Armadura.....	20
3.4 Tubulão.....	21
3.4.1 Tubulão a céu aberto.....	21
3.5 Estaca pré-moldadas de concreto.....	22
3.5.1 Cravação de estacas.....	24
3.5.2 Bate estaca manual.....	24
3.5.3 Bate estaca a queda livre ou gravidade.....	24

3.5.4 Capacete de cravação.....	25
3.6 Estaca Hélice contínua.....	26
3.6.1 Posicionamento do Equipamento.....	27
3.6.2 Perfuração.....	28
3.6.3 Concretagem.....	29
3.6.4 Instalação da armação.....	30
3.6.5 Monitoramento e controle na execução.....	31
4. Estudo de Caso.....	32
4.1 Metodologia de obtenção de dados.....	32
4.1.2 Discussão.....	32
5. Considerações Finais.....	38
Referências bibliográficas.....	40
Anexo A	41

INTRODUÇÃO

A engenharia de fundações vem sofrendo grandes avanços no que diz respeito a segurança e agilidade. Pode-se distinguir diversos métodos de perfurações com suas respectivas características de execução. Essa distinção está relacionada ao solo encontrado e ao método de execução. Nestes avanços, pode-se citar o desenvolvimento de novos equipamentos que proporcionam a execução mais eficiente.

Para uma previsão completa do comportamento e para o dimensionamento da fundação de uma obra é fundamental que seja avaliada a segurança e confiabilidade desta na fase de projeto e de execução. Habitualmente, na análise de segurança de fundações no Brasil, é verificado se a fundação projetada atende a valores de fatores de segurança normais e parciais apresentados na NBR 6122 (ABNT, 2022).

Com efeito das fundações, mais especialmente as estacas em hélice contínua, pode-se identificar diversas dificuldades de sua perfuração de acordo com o solo encontrado. Acredita-se que haja, em geral, dificuldade na perfuração em solos não naturais provenientes de outros locais, pois trazem consigo materiais granulosos, dificultando a perfuração contínua dos projetos de fundação.

Considera-se também que, os problemas relacionados a perfuração não abrangem somente o método executivo. É importante ressaltar a importância do estudo do solo ali encontrado, para que possa se identificar suas características, inibindo surpresas durante a perfuração, como, por exemplo, a presença de matacões.

O ensaio SPT-T (Standart Penetration Test), introduzido por Ranzini (1988), trouxe a possibilidade de obtenção de um parâmetro importante para o cálculo de fundações de maneira simples e barata. Desde então, vários pesquisadores vêm incentivando sua utilização na prática da engenharia de fundações. No entanto, uma pesquisa específica que abordasse, de maneira mais ampla e científica, sua real aplicabilidade na engenharia geotécnica, fez-se necessária. Um ensaio SPT, tem como objetivo primordial a definição do perfil geotécnico do terreno. Dessa maneira, o ensaio permite a caracterização das diferentes camadas do solo, além de definir suas respectivas profundidades e espessuras.

Deste modo, este estudo procura contribuir para análise de soluções para problemas de execução em estaca hélice contínua, podendo analisar o comporta-

mento da estaca a partir da perfuração, apresentar técnicas que possam ser utilizadas caso encontrem dificuldades na perfuração e avaliar as alterações verificadas entre o orçamento previsto e o orçamento real, decorrente de imprevistos que surgem durante o processo executivo.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Análise de soluções para problemas de execução em estacas hélice contínua.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento da estaca hélice contínua a partir das perfurações;
- Apresentar técnicas que possam ser utilizadas caso encontrem dificuldades na perfuração;
- Avaliar as alterações verificadas entre o orçamento previsto e orçamento real, decorrentes de imprevistos que surgem durante o processo executivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No estudo de fundações é necessário o conhecimento de algumas áreas da engenharia como, por exemplo, os conceitos de Cálculo Estrutural e Geotecnia. Conhecer as cargas que deverão ser suportadas pela edificação bem como a qualidade e resistência do solo que receberá tais cargas é de extrema importância no estudo de fundações.

De acordo com Velloso e Lopes (2004), para que um engenheiro de fundações seja bem-sucedido ele deve ter o conhecimento dos seguintes tópicos:

- origem e formação do solo estudado;
- caracterização e classificação do solo (SPT);
- investigação geotécnica;
- percolação no solo e controle de água subterrânea;
- resistência ao cisalhamento, capacidade de carga e empuxos;
- compressibilidade e adensamento;
- distribuição de pressões e cálculo de deformações e recalques.

Segundo Veloso e Lopes (2004), o engenheiro de fundações deve possuir conhecimento de cálculo estrutural para que consiga dimensionar conforme normas a estrutura de fundação e para determinar o comportamento estrutural da fundação quando o empreendimento receber as determinadas cargas em seus apoios calculados.

3.1 ENSAIO SPT

A sondagem a percussão, também conhecida como sondagem SPT é um dos tipos de sondagem mais executadas para o dimensionamento de fundação. Ela é utilizada para determinar características do solo em um terreno no qual se pretende realizar uma construção e é fundamental para o sucesso da mesma.

A sondagem (SPT) se divide nas seguintes operações:

1. Abertura do furo;
2. Ensaio de penetração;
3. Amostragem;

4. Avaliação do nível d'água;
5. Identificação e classificação das amostras;
6. Relatório.

Conforme a NBR 6484 (ABNT, 2020), dada a sua localização, se faz a marcação de cada furo da sondagem, cravando um piquete de madeira ou outro material adequado. O piquete deve conter a identificação do furo e estar fixado no solo, servindo também.

A sondagem deve ser executada a um número mínimo de furos, que será determinado em função do tamanho do terreno. Em terrenos cuja sua área seja de 200 m² a 1200 m² de construção, pode-se realizar apenas um furo de sondagem; de 1200 m² até 2400 m² deve-se realizar uma sondagem para cada 400m² e para terrenos que excedam 2400 m², o número deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. (NBR 6484, ABNT, 2020, p. 1).

De acordo com Milito (2009 *apud* LEITE, 2014 p. 22) “os furos de sondagem devem obedecer a uma distância de 15 a 25 m, não devem ficar no mesmo alinhamento e sempre no limite da área de estudo.

3.1.1 Processo de execução

Para se iniciar a execução da sondagem prepara-se o tripé conforme mostrado na Figura 1. O amostrador deve penetrar seus 45 cm no solo, divididos igualmente em três trechos de 15 cm. O martelo de 650 N é solto de uma altura de 75 cm em queda livre sobre a haste. A quantidade de golpes necessária para que o mesmo penetre cada um dos três trechos de 15 cm é então anotada.

Figura 1 - Sondagem SPT



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Deve ser coletada uma parte específica do solo, com a utilização do tradoncha durante a perfuração, até um metro de profundidade para análise do solo e identificação de suas características. Na Figura 2 são mostradas as amostras obtidas em um ensaio realizado.

Figura 2 - Amostragem de solo



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Após a realização do furo, as amostragens do solo são encaminhadas para laboratório assim identificando as características do solo por profissionais habilitados e capacitados, como Engenheiros e Geólogos.

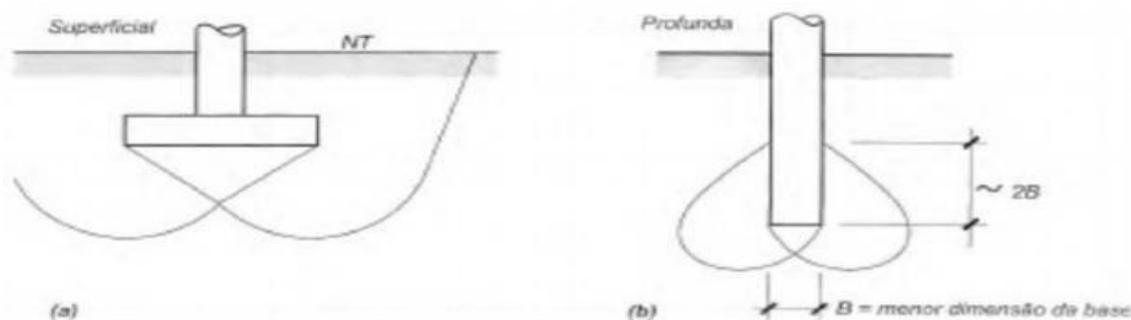
3.2 CATEGORIAS DE FUNDAÇÃO

Existem duas categorias de fundações, sendo elas:

- Fundações superficiais;
- Fundações profundas.

Como apresentado na Figura 3, o item (a) ilustra uma fundação superficial e item (b) ilustra uma fundação profunda.

Figura 3: Fundação superficial e fundação profunda



Fonte: Velloso & Lopes (2004)

Conforme descrito na NBR 6122 (ABNT, 2022):

“A fundação superficial é um elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada; para esta definição adota-se menor profundidade, caso esta não seja constante em todo o perímetro da fundação.”

Ainda de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022):

“A fundação profunda é um 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 estacas e os tubulões.”

A seguir serão descritos os processos construtivos de alguns tipos bastante utilizados de fundação profunda.

3.3 Estaca Strauss

A sua execução é muito simples, não requerendo aparelhagem especial além de um pilão.

São utilizados processos comuns de escavação (semelhança com as sondagens), em que se começa por apoiar sobre o solo (observado o ponto de marcação do eixo do bloco da fundação – centro do pilar) o tubo metálico da “strauss”.

Na sequência processa-se a escavação por dentro deste tubo – retirada do solo com auxílio de uma sonda que cai no solo e faz com que o solo entre dentro deste tubo de auxílio à escavação, sendo este retirado do furo com solo a ser removido para nova operação de retirada de solo e assim por diante. Este processo faz com que se “enterre” um tubo de diâmetro igual ao da estaca.

Atingida a profundidade prefixada, enche-se o tubo com cerca de 75 cm de concreto, que vai sendo apiloado à medida que se retira o tubo. Esta operação se repete até o concreto atingir a cota desejada.

Embora bastante simples a sua execução, devem-se tomar cuidados especiais, sobretudo quando se trabalha abaixo do lençol d’água. Na Figura 4 é apresentado o equipamento Strauss montado com o tripé.

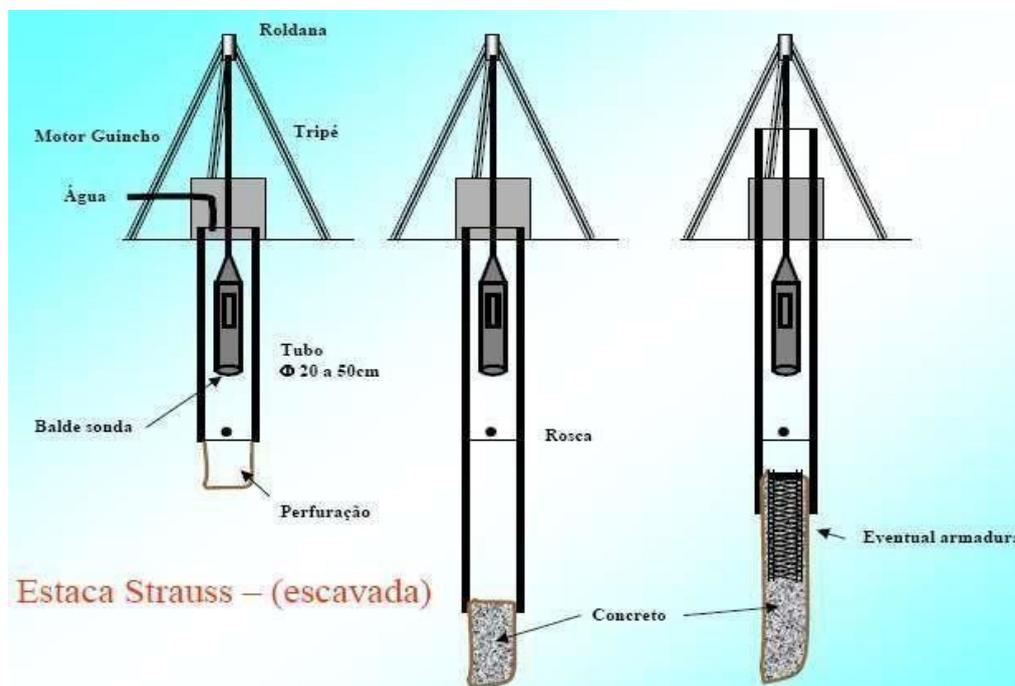
Figura 4: Execução de estaca Strauss



Fonte: Estaca Strauss (Carluc; 2022)

Na Figura 5 mostra-se as etapas de execução, identificando cada processo e equipamentos para perfuração.

Figura 5 - Etapa de execução de estaca Strauss



Fonte: Marinho, F. Mecânica dos Solos e Fundações – USP (2008)

As principais características das Estacas Strauss são:

- Reduzida trepidação e, conseqüentemente, pouca vibração nas edificações vizinhas à obra.
- Possibilidade de execução da estaca com o comprimento projetado, permitindo cotas de arrasamento abaixo da superfície do terreno.
- Facilidade de locomoção dentro da obra.
- Permite conferir durante a percussão, por meio de retirada de amostras do solo, a sondagem realizada.
- Permite verificar, durante a perfuração, a presença de corpos estranhos no solo, matacões e outros, possibilitando a mudança de locação antes da concretagem.
- Capacidade de executar estacas próximas às divisas do terreno, diminuindo assim, a excentricidade nos blocos.
- Execução de estacas com capacidade de 20 ton, 30 ton e 40 ton.

3.3.1 Dimensionamento

A determinação das seções, as localizações e profundidades serão fornecidas pelo calculista das fundações, com seu dimensionamento de acordo com a NBR 6118 – “Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado” e NBR 6122 (2022) – “Projeto e Execução de Fundações”.

3.3.2 Perfuração

Após a locação dos pontos das estacas, por meio de gabarito indicando seus eixos, inicia-se a perfuração, com a piteira posicionada dentro do primeiro tubo de revestimento (extremidade inferior dentada) e com golpes sucessivos, a piteira retirará o solo do interior, abaixo do tubo, que se introduzirá aos poucos no terreno, por efeito de seu peso próprio.

Quando o tubo estiver totalmente cravado, será rosqueado um novo tubo em sua extremidade superior livre e reiniciado o trabalho da piteira. Este procedimento será repetido até que se atinja a profundidade prevista para a perfuração ou as condições de suporte previstas para o terreno.

3.3.3 Concretagem

Ao atingir a profundidade desejada e procedida a limpeza do tubo, será lançado o primeiro volume de concreto no interior do tubo e apiloado com o auxílio de um pilão metálico, visando a formação de um “bulbo” na base da estaca.

Igual volume de concreto será novamente lançado e procedido novo apiloamento, iniciando-se a remoção dos tubos de revestimento, com auxílio de um guincho mecânico. Esta operação se repetirá até que o concreto atinja a cota desejada, com a máxima precaução, a fim de impedir sua descontinuidade, completando assim, eventuais espaços vazios e preenchendo as deformações no subsolo.

3.3.4 Armadura

Antes da concretagem dos últimos dois metros da estaca, ou a critério do calculista das fundações, será colocada uma armadura, onde as barras deverão emergir fora da cota de arrasamento da estaca, conforme detalhe do projeto de fundações.

3.4 Tubulões

Destaca-se entre as fundações, pois apresenta características de transmissão de cargas para o subsolo diferente das demais fundações profundas, isto ocorre devido a sua base, uma vez que a mesma é larga e com área de contato considerável, tendo como suporte das cargas pela sua base. O diâmetro mínimo de fuste é de 90 cm, estipulado pela norma regulamentadora NR18 (NR18, 2022).

A execução de uma fundação em tubulões consiste na escavação manual ou mecânica de um fuste, até encontrar terreno firme, geralmente dotado de uma base alargada que tem por finalidade transmitir a carga do pilar através de uma pressão compatível com as características do terreno (AZEREDO, 1997).

3.4.1 Tubulões a céu aberto

Fundamentalmente usa-se este tipo de fundação para vencer grandes cargas. Outro fator positivo é o fato de que os tubulões proporcionam a execução em áreas onde não se podem usar equipamentos mecanizados, ou em grandes centros urbanos, que na maioria das vezes o acesso é limitado (MARANGON, 2018).

Neste caso, por se tratar de uma escavação manual, o uso desta atividade se dá principalmente em locais onde o solo é mais rígido ou que apresenta maior resistência (MARANGON, 2018).

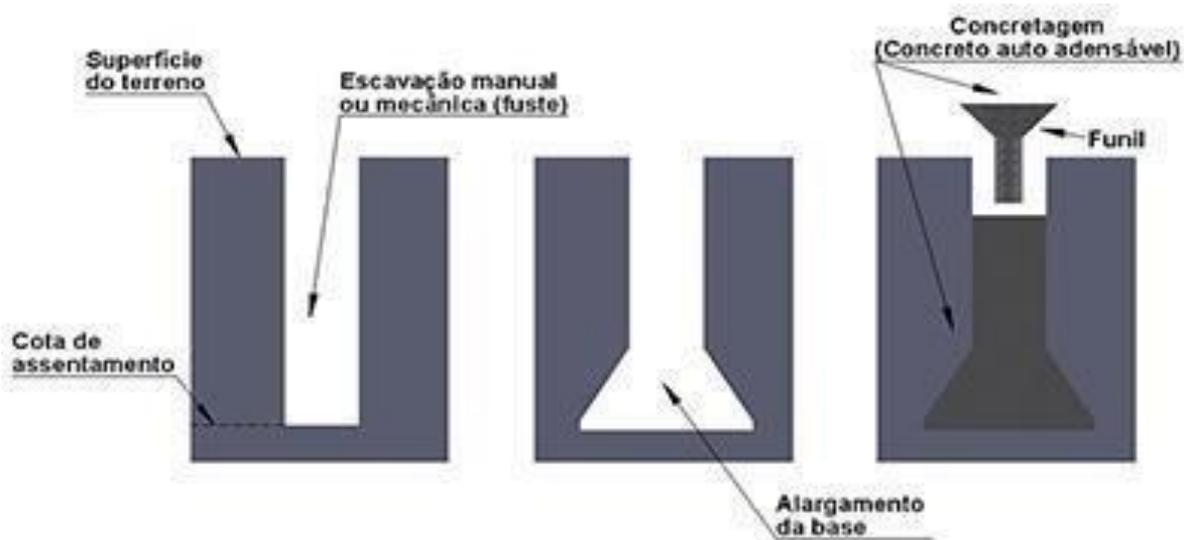
De acordo com Marangon (2018), o tubulão apresenta diversas vantagens em relação a outros tipos de fundações, são elas:

- As vibrações e os ruídos são praticamente inexistentes, uma vez que sua escavação é manual.
- As escavações podem atravessar pedras e matacões, assim podendo penetrar em diversos tipos de materiais e, se necessário, até em rochas.
- Os custos que envolvem sua execução são muito mais inferiores que de outros modelos de fundações profundas.
- Inicialmente pode ser escavado manualmente ou mecanicamente, conforme ilustrado na figura 6.

Uma das desvantagens do tubulão a céu aberto pode ser a aparição de água, mas que não se torna um problema, pois a mesma pode ser contida e expelida de

dentro do fuste, visto que a mesma não ocasionará prejuízos na perfuração (MARANGON, 2018).

Figura 6 – Etapas de execução do tubulão céu aberto



Fonte: Drilling do Brasil (2018).

3.5 Estacas Pré-Moldadas De Concreto

As estacas pré-fabricadas caracterizam-se por serem cravadas no terreno por percussão, prensagem ou vibração e por fazerem parte do grupo denominado de estacas de deslocamento. No Brasil, o sistema de cravação por percussão é o que predomina. As estacas pré-moldadas podem ser constituídas por diversos elementos estruturais, como concreto armado ou protendido, metálicos ou de aço, madeira, etc. Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2022), a estaca metálica ou de aço é um elemento estrutural produzido industrialmente, podendo ser constituído por perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos (com ou sem costura) e trilhos. Já a estaca pré-moldada de concreto pode ser de concreto armado ou protendido, vibrado ou centrifugado, com qualquer forma geométrica da seção transversal.

Além da eficácia no controle de qualidade, as estacas pré-moldadas de concreto são excelentes opções para execução de fundação em solos com lençol

freático próximo ao nível do solo e colaboram com uma obra mais limpa, uma vez que não há escavações.

A cravação de uma estaca pré-moldada compreende basicamente a cinco etapas, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7: Processo executivo de estaca pré-moldada



Fonte: Estacas pré-moldadas de concreto (Téchne, 2016)

Como desvantagens das estacas pré-moldadas, citam-se: necessidade de decorrer pelo menos três semanas da data de concretagem até a de cravação, consumo do tempo e de dinheiro em prolongar e encurtar estacas em vista de variações locais do terreno, armazenamento e transporte dentro da obra (donde ocupação de área do canteiro e atrasos na marcha dos serviços), grande consumo de ferro, pois a estaca deverá ser armada para resistir também aos esforços devidos aos choques do pilão e às solicitações que ficam sujeitas durante o transporte, etc.

Na Figura 8 é possível identificar a forma para concretagem de uma estaca SCAC: As estacas SCAC são de concreto armado com adensamento pelo processo de centrifugação resultando em seções circulares vasadas de diâmetros externos variando entre 20 cm e 70 cm.

Figura 8: Forma preparada para concretagem de uma estaca do tipo SCAC.



Fonte: Fundações profundas (2018)

3.5.1 Cravação de Estacas

É a operação que consiste, por meio de percussões aplicadas à cabeça da estaca ou do seu molde, em forçar a estaca ou tubo no terreno até a profundidade em que passe a oferecer uma resistência satisfatória.

Vários são os Tipos de Bate-Estacas (em inglês, pile drivers, e em francês, sonnetes) empregados.

3.5.2 Bate-estacas manual

É o tipo mais simples. O peso do pilão, levantando com ajuda de cordas e polias, varia de 50 a 200 kg e a altura de queda geralmente de um metro.

3.5.3 Bate-estacas de queda livre ou de gravidade

É constituído por um pilão que, deslizando ao longo de guias fixadas a uma estrutura, é levantado por meio de cabo de aço que vai sendo enrolado em um guincho de acionamento mecânico. O número de pancadas por minuto varia de 5 a 10; a rapidez das percussões é vantajosa para a cravação.

Normalmente o peso do pilão é tomado aproximadamente igual a duas vezes o peso da estaca, conforme se trate de estacas de madeira ou de concreto.

Figura 9 – Equipamento de bate estaca



Fonte: Fonte: Fundações profundas (2018)

3.5.4 Capacete de cravação

Para evitar a destruição das cabeças das estacas durante a cravação, usam-se “capacetes de cravação”, os quais, embora de vários tipos, consistem, em geral, num anel de ferro fundido, contendo um bloco de madeira dura, que recebe diretamente o golpe do martelo e transmite a estaca.

O emprego de capacetes, se por um lado reduz o rendimento de cravação, por outro, permite a adoção de maiores alturas de quedas e pesos de martelos.

Quando as cabeças de estacas ficam abaixo da superfície do terreno ou do nível d'água, a cravação é feita por intermédio de um suplemento, que é um elemento de madeira colocado entre o pilão e à estaca.

3.6 Estaca Hélice Contínua

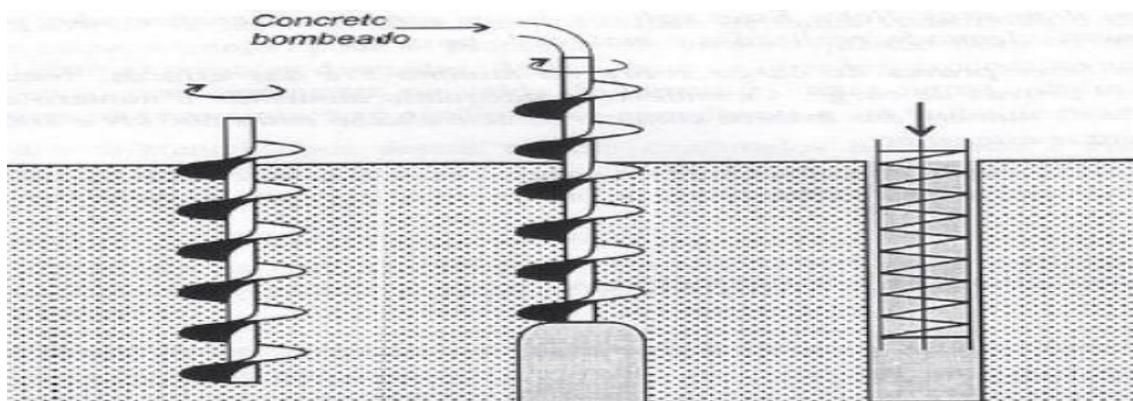
As estacas hélice contínua foram criadas nos EUA e disseminadas em todo o Japão e a Europa no final da segunda metade do século 20, seu primeiro uso no Brasil foi realizado em 1987 (ANTUNES e TAROZZO, 1998).

Lázaro e Wolle (2004) notam a crescente utilização e estudo desse tipo de estaca nos últimos anos. Segundo os autores, através da realização de provas de carga, inclusive instrumentadas, têm se buscado estabelecer os mecanismos de transferência de carga ao longo do fuste e na ponta das estacas hélice contínua, permitindo a elaboração de métodos para a previsão da carga de ruptura e dos recalques decorrentes dos carregamentos. Como exemplo, Danziger (2012) relata que a maior parte dos artigos relacionados a fundações selecionados para o COBRAMSEG XVI, um dos mais importantes eventos da comunidade geotécnica brasileira, envolviam o estudo desse tipo de estaca. O autor justifica a sua expressiva utilização ao avanço tecnológico no seu processo executivo e à reduzida interferência nas edificações vizinhas, caracterizada pela ausência de vibração ou ruído durante a execução.

A NBR 6122, (ABNT, 2022) define que as estacas hélice contínua são:

“Estacas de concreto moldadas in loco, executadas mediante introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo. A injeção de concreto é feita pela haste central do trado simultaneamente à sua retirada. A armadura é sempre colocada após a concretagem.”

Figura 10 - Fases da execução da estaca hélice contínua: a) Introdução do trado helicoidal contínuo; b) Injeção do concreto com retirada do trado; c) Instalação da armadura.



Fonte: Velloso e Lopes (2002).

Alonso (1996) relata que no início de sua utilização enfrentaram-se dificuldades na coordenação entre o fluxo de concreto a injetar e a velocidade de extração do trado. Se o trado fosse levantado mais rapidamente que o fluxo de concreto que era injetado na estaca, poderia ocorrer diminuição da seção do fuste ou mesmo seu seccionamento. Por outro lado, se o trado fosse retirado muito lentamente, poderia ocorrer segregação ou contaminação do concreto com o solo contido nas hélices do trado.

Outro problema consiste no baixo valor de torque máximo disponível, que limitava o diâmetro das estacas e criava dificuldades para o operador manter uma velocidade de penetração adequada em certos tipos de terreno.

Em função desses problemas, foram desenvolvidos equipamentos com maior capacidade, dotados de instrumentação para monitoramento e registro da execução das estacas. Esse avanço tecnológico permitiu o controle, entre outras coisas, da pressão de injeção e da velocidade de avanço e subida do trado, informações importantes para tomada de decisões rápidas em todas as fases do processo.

Quanto à aplicabilidade dessa solução, Antunes; Tarozzo (1998) destacam que as estacas hélice contínua adaptam-se a maioria dos tipos de terreno, exceto os que apresentam matacões e rochas.

3.6.1 Posicionamento do Equipamento

O posicionamento do equipamento está relacionado com diretrizes do projeto e com a localização dos eixos das perfurações. Após a locação das estacas posterior ao embocamento, a execução deve seguir recomendações de projeto, utilizando trados de Ø60cm, Ø50cm e Ø40cm, com profundidade de 19m.

Após a identificação da perfuração é alinhado a máquina para início da perfuração. A Figura 11 mostra-se a execução de perfuração em Hélice Contínua.

Figura 11 – Execução da perfuração.



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

3.6.2 PERFURAÇÃO

A hélice é constituída por dentes em sua extremidade inferior que ajudam sua penetração no solo. Para que não haja introdução do solo ou da água na haste tubular, existe na sua parte inferior uma tampa metálica que é removida na concretagem (ANTUNES; TAROZZO, 1996). Isso permite a utilização desse tipo de estaca em terrenos arenosos e coesivos, com ou sem presença de água e com índices de SPT superior a 50 golpes (FUNDESP, 2006).

Nesta fase é necessário que detenha a menor retirada de terra possível, reduzindo o desconfinamento do solo no campo de interação do trado-solo.

Segundo Penna *et al.* (1999), os aspectos mais consideráveis do trado são o tipo e inclinação da lâmina de corte, situada na sua ponta, o passo da hélice e a inclinação da hélice em relação a vertical. Tendo em vista que essas características

vão influenciar na velocidade de perfuração, na capacidade de penetrar as camadas resistentes na menor ou maior retirada de solo ao longo da descida do trado.

3.6.3 CONCRETAGEM

Alcançada a profundidade desejada, o concreto é bombeado através do tubo central preenchendo simultaneamente a cavidade deixada pela hélice que é extraída do terreno girando lentamente para extrair todo o material perfurado, conforme Figura 12.

O concreto é definido de acordo com o projeto de fundações.

Figura 12: Fases de execução das estacas tipo hélice contínua monitorada.



Fonte: SoloConsult (2022).

O concreto é injetado sob pressão positiva na ordem de 50 a 100 kPa, com o intuito de garantir a continuidade e integridade do fuste da estaca. Deve-se garantir que a ponta do trado, durante a perfuração, tenha atingido um solo que permita a formação da “bucha”, para que o concreto injetado se mantenha abaixo da ponta de estaca, evitando que o mesmo suba pela interface solo-trado (SILVA NETO, 2002).

3.6.4 INSTALAÇÃO DA ARMAÇÃO

Após o término da perfuração e fim da concretagem, depois de verificada sua rigidez a armação é inserida. A Figura 13 apresenta o método de inserção da armação.

Figura 13: Inserção de estaca por gravidade.



Fonte: Arquivo pessoal (2022).

A armação tem por costume ser do tipo “gaiola”, com estribos helicoidais soldados às barras longitudinais. Na extremidade, suas barras são levemente dobradas de forma que fiquem afuniladas, facilitando a inserção e evitando problemas relacionados a deformação da mesma. É comum o emprego de espaçadores plásticos tipos “rolete”, com objetivo de manter o recobrimento mínimo previsto pela norma (ANTUNES e TAROZZO, 1996).

3.6.5 MONITORAMENTO E CONTROLE NA EXECUÇÃO

O monitoramento no campo é feito por meio de um computador acoplado à máquina, que registra desde o comprimento da perfuração até a metragem cúbica de concreto utilizado, sendo gerados relatórios (Figura 14), por meio de um sistema computadorizado de controle executivo da estaca hélice contínua. O SACI é um instrumento de medida formado por um computador e vários sensores que são instalados na perfuratriz através de cabos elétricos de forma que a instalação do sensor de pressão do concreto é feita através de link de rádio, eliminando o cabeamento elétrico deste sensor e os problemas comuns de ruptura deste cabeamento (RAMOS, 2011).

Este equipamento fornece os seguintes dados:

- Profundidade;

- Tempo;
- Inclinação;
- Velocidade de penetração do trado;
- Velocidade de rotação do trado;
- Torque;
- Velocidade de retirada (extração) da hélice;
- Volume de concreto lançado;
- Pressão do concreto.

Figura 14: Computador de bordo (Sistema SACI)



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Os dados fornecidos são monitorados pelo operador da perfuratriz em tempo real durante a escavação da estaca. Após o fim da perfuração o equipamento gera um relatório com os dados mencionados acima.

Apesar de sua eficiência nos fornecimentos de dados pelo monitoramento, podem ocorrer diversos imprevistos e erros, sendo esses, causados pelo sistema de monitoramento não calibrado, ou às vezes até calibrados, mas de forma incorreta. Outra possibilidade é a identificação de danos nos sensores, nas bombas muito utilizadas ou sem manutenção, ocasionando erros de medida de volume de concreto e por consequência de pressão de injeção.

3. ESTUDO DE CASO

Neste tópico, será apresentado um estudo de caso buscando trazer um maior conhecimento do tema abordado bem como apresentar novos métodos não usuais para dificuldades durante a perfuração em estaca Hélice contínua.

3.1 Metodologia de obtenção dos dados

O trabalho é baseado em um estudo de caso da obra de fundação do Empreendimento Arnaldo Patrus Cidade de Vespasiano localizado na rua Doutor Gonçalo de Moura, 1400 no bairro São Damião no município de Vespasiano no estado Minas Gerais.

O Empreendimento tem uma área de construção total de: 21.462,31 m², sendo o local a ser estudado de área de: 396,50 m². As visitas ao empreendimento foram realizadas no segundo semestre de 2022. São 04 torres com a mesma tipologia. A torre escolhida foi de número 04 por estar em execução e podendo assim, facilitar o acompanhamento e prosseguimento com o estudo.

Para obtenção dos dados, foi designado um estagiário da parte técnica para acompanhamento da perfuração. As informações sobre a profundidade de cada perfuração foram anotadas. Além do acompanhamento in loco, todas os problemas durante a perfuração foram discutidos pela equipe para as devidas soluções.

3.2 DISCUSSÃO

Ao executar as estacas em hélice contínua, foi realizado o acompanhamento de todo o método executivo para verificação e anotação dos processamentos.

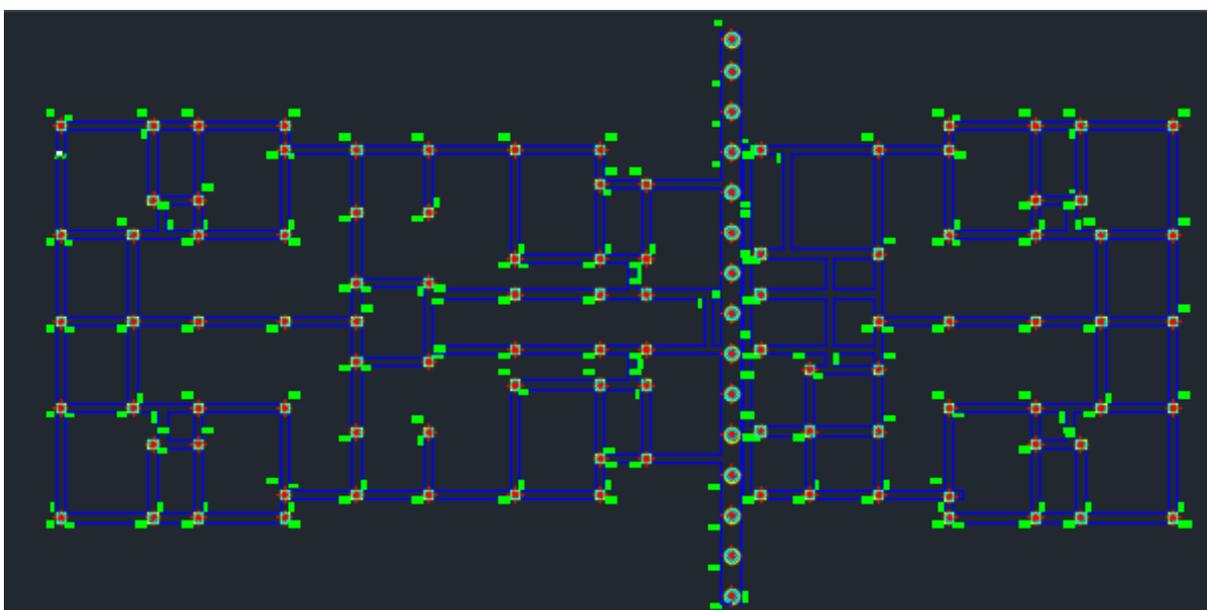
A seguir será apresentado técnica utilizada para solucionar problemas durante a perfuração da hélice contínua em solo com presença de pedregulhos, além de apresentar tabelas orçamentárias com os valores atualizados a partir de perfurações a mais que não estavam anteriormente projetadas.

O Anexo A mostra os dados obtidos através do ensaio SPT. Pelo relatório apresentado no anexo e pela sondagem realizado é possível identificar a presença

de pedregulhos a partir de 07 m de profundidade. Dessa forma, é necessário que haja cautela durante a perfuração.

A Figura 15 traz o projeto inicial de fundação, a fundação é um passo imprescindível para a construção de toda a edificação. É possível identificar que existem 100 estacas a serem perfuradas. A partir deste projeto que se inicia a perfuração.

Figura 15- Projeto de fundações.



Fonte: Empercom (2022).

Na Figura 16 pode-se ver a escavadeira executando a perfuração do local onde houve incidência de pedregulhos, assim é possível retirar as pedras podendo novamente executar a perfuração.

Figura 16 - Escavação com retroescavadeira.



Fonte: Arquivo pessoal (2002)

Na Figura 17 vê-se alguns pedregulhos que inviabilizam a perfuração da estaca hélice contínua. Com a presença de pedras com diâmetros elevados, a máquina não consegue retirar ou perfurar, sendo assim, é necessário retirar estes materiais para retomar a perfuração e concretagem da estaca.

Figura 17- Pedregulhos.



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

Na Figura 18 é mostrado o aterro do local onde foi executado a escavação para retirada dos pedregulhos. É ilustrado também a marcação pela tabeira do eixo da estaca, assim desce o prumo de centro para remarcação da estaca.

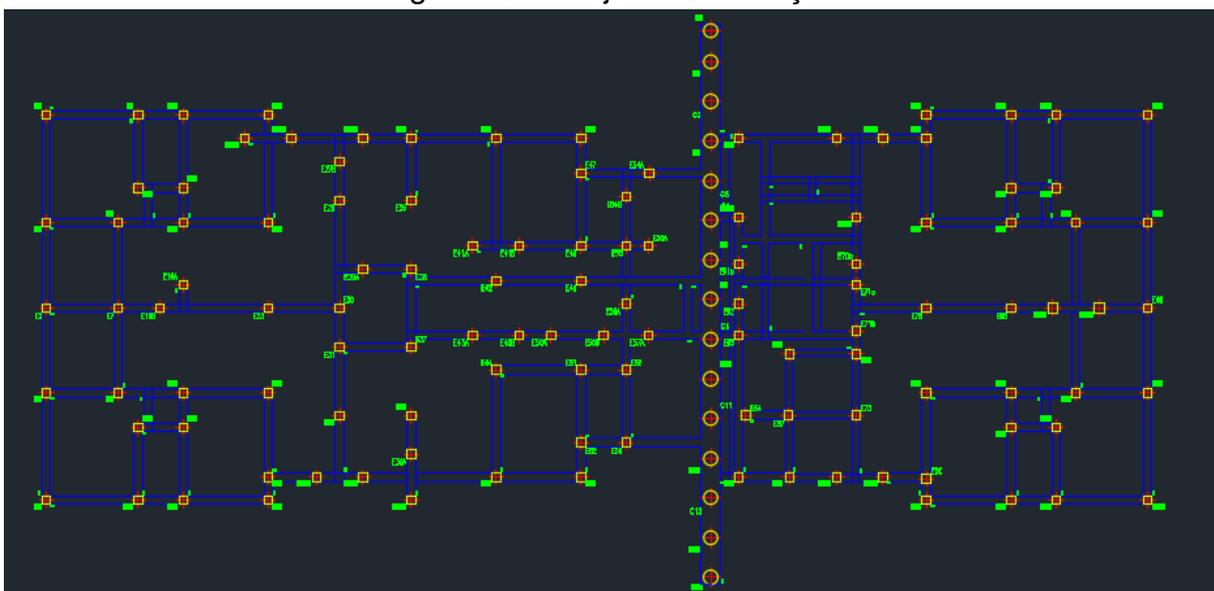
Figura 18 – Aterro e remarcação.



Fonte: Arquivo pessoal (2022)

A figura 19 é a ilustração do novo projeto de fundações onde não houve a possibilidade da retirada das pedras. Assim é necessário executar novas perfurações para a fundação suportar todo o peso do dimensionamento do projeto inicial. Somando um total de 15 estacas a mais do projeto inicial.

Figura 19 – Projeto de fundação Rev2.



Fonte: Arquivo pessoal (2002)

Conforme a Tabela 1 apresenta o valor do processo de perfuração, concretagem inserção da armadura na estaca. O custo para perfuração unitária de cada estaca é de R\$ 2.932,61. Sendo assim, é necessário que o terreno seja acessível para a não utilização de novas perfurações, o que inviabiliza o processo.

Tabela 1 – Quadro resumo de consumos

Unidade	Estaca Ø50mm/mL	Concreto 30MPa/m ³	Armação/ unid	Total:
R\$ 1,00	R\$ 855,00	R\$ 2.077,61	R\$ 620,11	R\$ 2.932,61

Fonte: Arquivo pessoal (2002)

Na Tabela 2 mostra-se o valor do acréscimo decorrente das 15 novas estacas a partir do projeto de fundações revisado, que totalizou R\$ 43.989,15. Este acréscimo é significativo já que o Empreendimento é financiado pelo segmento Casa Verde e

Amarela, onde todo o orçamento não prevê irregularidades/atrasos durante a execução.

Tabela 2 – Quadro resumo de consumos

Unidade	Estaca Ø50mm/mL	Concreto 30MPa/m ³	Armação/uni d	Total:
15,00	R\$ 12.825,00	R\$ 31.164,15	R\$ 9.301,65	R\$ 43.989,15

Fonte: Arquivo pessoal (2002)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estacas do tipo hélice contínua vêm conquistando cada vez mais o mercado da construção civil, sendo uma ótima opção para as fundações profundas, graças a muitas vantagens que ela possui, em relação as demais estacas, assim como a grande velocidade de execução, e o constante monitoramento eletrônico deste método, além do custo da mão de obra.

O presente trabalho buscou apresentar o processo de execução da estaca tipo hélice contínua, analisando o comportamento da estaca durante a perfuração e alguns métodos que podem ser tomados durante imprevistos ali encontrados.

É de extrema necessidade acompanhamento rigoroso deste método construtivo para que todas as perfurações sigam claramente o que foi calculado e projetado. Além de ser possível observar que a maior dificuldade encontrada é o solo com diversos pedregulhos, o que inviabiliza a perfuração, além de que a manutenção deste tipo de equipamento demanda tempo e as épocas de chuvas que gera um atraso na execução das estacas.

O presente trabalho, demonstrou o desempenho da estaca tipo hélice contínua mostrando seu desempenho no processo de execução, com base na perfuração e característica do solo, sendo possível identificar métodos não usuais para resolução de problemas, vale lembrar a importância sobre os orçamentos efetuados ao início da obra, sendo às vezes não idêntico com o orçamento real, inviabilizando talvez o projeto.

Espera-se que o presente estudo contribua para trabalhos futuros sobre o desenvolvimento de métodos não usuais para resolução de problemas durante a perfuração, salientando a necessidade de um maior comprometimento durante a projeção de orçamento da obra para não se tornar inviável. Lembrando da necessidade da continuação do estudo para capacitar e melhorar ainda mais a execução em hélice contínua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, U.R. **Exercícios de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB 6484: **Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT** – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020, 17p.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ANTUNES W.R.; TAROZZO, H. **Estacas Tipo Hélice Contínua**. In: HACHICH, W. et al. **Fundações Teoria e Prática**. 2ª Edição. São Paulo: Pini Ltda., 1998, p.345-347.
- ALBUQUERQUE, J. Título: **Análise do desempenho de estacas hélice contínua e ômega – aspectos executivos**. 2002. 193f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.
- DANZIGER, B. R. **IME - Fundações**. 2007. 39p. Notas de Aula.
- DECOURT, L. et al Investigações Geotécnicas. In: HACHICH W. (coord.) **Fundações: Teoria e Prática**. 1a edição. São Paulo, Pini. 1996, p119 a 162.
- GOTLIEB, I. D. Concepção de projetos e desempenho das fundações. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE), 6., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008. v. 1, p. 185-190.
- HACHICH, Waldemar, FALCONI Frederico F., SAES José Luiz, FROTA Régis G. Q., CARVALHO Celso S. e NIYAMA Sussumu. **FUNDAÇÕES – Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 1998.
- LAZARO, A. A., WOLLE, C. M. Estacas Hélice contínua: correlações entre a monitoração e características do solo. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE), 5., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2004. v. 1, p. 57-69.
- LAZO. G. **Previsão do comportamento de estacas pré-moldadas na região da Grande São Paulo, Brasil por meio de modelos matemáticos**. 1996. 222 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996
- MANTILLA, J.N.R. **Comportamento de Estacas Escavadas, Instrumentadas, à Compressão. Tese (doutorado)**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992, 251 p

PENNA, A.S.D.; CAPUTO, A.N, MAIA, C.; PALERMO, G.; GOTLIEB, M.; PARAÍSO, S.C; ALONSO, U.R. (1999). **A estaca hélice contínua – a experiência atual**. FALCONI, F. F & MARZIONNA, J.D. (Ed.) ABMS/ABEF/IE 162p.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.190p.

SOUZA, R.N.; COUSO Jr., E. **Considerações sobre o comportamento de estacas do tipo hélice contínua**. Revista Solos e Rochas, v.20, n.2, p. 99- 105. 1997.

