



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



ANA VITÓRIA MONTES SANTOS

**CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA
BARRETE – ESTUDO DE CASO**

Uberlândia

2022

ANA VITÓRIA MONTES SANTOS

**CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO DE FUNDAÇÃO EM ESTACA
BARRETE – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia

Uberlândia

2022

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre se mostrar presente e ter me guiado na jornada da graduação em engenharia diante de todas as alegrias e desafios.

A minha mãe, que esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida e que me aconselhou e guiou durante todos os anos de escola e faculdade.

Aos meus avós, por todo amor, carinho e ensinamentos.

Aos meus familiares, por todo o apoio que me deram ao longo desses últimos anos.

Aos meus amigos, por cada desafio vivido juntos e pelo apoio durante os anos de graduação, tornando cada momento mais especial. Em especial, agradeço aos amigos do curso de Engenharia Civil, aos amigos da empresa Júnior Constru Soluções em Engenharia e Arquitetura e aos amigos do JUCC.

A todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

Ao meu orientador, prof. Dr. Jean Garcia, por aceitar o desafio de orientar este trabalho e também pela dedicação e apoio para o desenvolvimento do mesmo.

RESUMO

As fundações são os elementos responsáveis por transferir a carga de uma estrutura para o solo, sendo que podem ser classificadas como rasas e profundas. As profundas são as quais transmitem a carga ao terreno pela base, por meio de sua superfície lateral ou por combinação de ambas. Neste trabalho, é apresentado o estudo de um caso real de um edifício residencial em construção, no qual inicialmente possuía fundação em bloco estaqueado. Porém, pela grande quantidade de estacas propostas e pelo alto volume de aço e concreto necessário, foi realizada a alteração de projeto. Após nova análise da sondagem, foram feitos novos estudos a fim de encontrar a melhor solução para a execução diante das condições do terreno e foi apresentado um projeto em estacão, o qual possuía custos menores que o bloco estaqueado, porém ainda elevados e com blocos de fundação com grandes dimensões. Então foi apresentada uma nova solução, concluindo-se que o uso de estacas escavadas com fluido estabilizante tipo barrete seria a opção mais viável tecnicamente. Também foram realizadas análises da viabilidade econômica e de cronograma e os resultados foram positivos, pois pela alta capacidade de carga das estacas barrete, houve diminuição da quantidade de estacas em relação às duas opções anteriores e redução no prazo para execução da etapa de fundação.

Palavras-chave: Estaca escavada, fluido estabilizante, barrete, viabilidade.

ABSTRACT

Foundations are the responsible elements that transfers the load of a structure to the soil and are classified either shallow or deep. Deep foundations are those that transfers the load to the soil trough the base or the skin friction or by combination of both. In this paper, it's presented the study of real case of a residential building under construction, in which initially had piled foundation. But it presented great number of piles, that requires high volumes of steel and concrete, so an alteration of the design was made. After new analyses of the soil, new studies were made to find the best solution for the conditions of the soil and it was presented a design in fluid supported deep excavations in a round format, in which presenter lower costs than the piled foundation, but still elevated and foundation blocks that had big dimensions. So it was presented a new solution, concluding that the use of fluid supported deep excavation in a rectangular format was the best technical solution. Also, there were made analyses of the economic viability and it had positive results, because of high bearing capacity of charges from the fluid supported deep excavation that made possible to minimize the number of piles once compared to both options presented in the first place.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo executivo de estaca barrete (GeoFund, 2022).....	11
Figura 2 – Sistemas de Fundação (Garcia, 2015).....	12
Figura 3 - Execução de estaca escavada com revestimento e com fluido estabilizante (Velloso e Lopes, 2010).....	13
Figura 4 - Etapas de execução da mureta-guia (Autora, 2022)	16
Figura 5 - Escavação de estaca barrete utilizando polímero (Autora, 2022).....	16
Figura 6 – Fachada da Torre B (Autora, 2022)	19
Figura 7 – Dimensões dos pilares (Autora, 2022)	20
Figura 8 – Locação dos pontos de sondagem (Autora, 2022)	21
Figura 9 – Sobreposição dos furos de sondagem na planta chave do empreendimento (Autora,2022)	22
Figura 10 – Bloco estaqueado Torre A (Autora, 2022).....	23
Figura 11 – Bloco estaqueado Torre B (Autora, 2022).....	23
Figura 12 – Proposta de Fundação em estação para a Torre A (Autora, 2022)	25
Figura 13 – Proposta de Fundação em estação para a Torre B (Autora, 2022).....	25
Figura 14 - Projeto em estaca barrete Torre A (Autora, 2022)	26
Figura 15 - Projeto em estaca barrete Torre B (Autora, 2022).....	27
Figura 16 - Custos dos tipos de fundações (Autora, 2022)	30
Figura 17 - Silos para armazenamento do polímero (Autora, 2022)	31
Figura 18 - Armações das estacas barrete (Autora, 2022).....	31
Figura 19 - Teste do pH da água	32
Figura 20 - Barrilha leve para correção do pH da água (Autora, 2022).....	32
Figura 21 - Polímero AMC CR 650 RD (Autora, 2022)	33
Figura 22 - Pesagem da densidade da mistura (Autora, 2022).....	33
Figura 23 – Medição do pH do fluido estabilizante (Autora, 2022)	34
Figura 24 – Execução da Mureta-guia (Autora, 2022).....	34
Figura 25 - Escavação de estaca barrete	35
Figura 26 - Concretagem de estaca barrete (Autora, 2022).....	35
Figura 27 - Reforço na fundação (Autora, 2022)	37
Figura 28 - Provas de carga exigidas em projeto (Autora, 2022).....	38
Figura 29 - Ensaio de carregamento dinâmico em estaca barrete (Autora, 2022)	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da lama bentonítica para perfuração (ABNT NBR 6122:2019)	14
Tabela 2 - Características o polímero para perfuração (ABNT NBR 6122:2019)	15
Tabela 3 - Comparativo de custos entre fundações (Autora, 2022)	29
Tabela 4 – Resumo comparativo entre bloco estaqueado x estação x barrete (Autora, 2022)	30
Tabela 5 - Características das estacas ensaiadas em prova de carga dinâmica (Autora, 2022)	39
Tabela 6 - Fator de Segurança das Estacas Barrete	39

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivo.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 BLOCO ESTAQUEADO	12
2.2 ESTACAS ESCAVADAS COM FLUÍDO ESTABILIZANTE	12
2.3 FLUIDO ESTABILIZANTE	13
2.3.2 Lama Bentonítica.....	13
2.3.3 Polímero.....	14
2.3.4 Armazenamento do fluido	15
2.4 PROCESSO EXECUTIVO DA ESTACA BARRETE.....	15
2.4.1 Locação e execução da mureta-guia.....	15
2.4.2 Escavação	16
2.4.3 Concretagem.....	17
2.4.3.1 Controle do concreto	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização da Obra	19
3.2 Caracterização geológico-geotécnicas	20
3.3 Projeto Inicial de Fundações	22
3.4 Segunda opção de projeto de fundações	24
3.5 Projeto de Fundações em Estacas Barrete	26
3.6 Comparativo entre projetos propostos	28
3.7 Processo Executivo	31
3.7.1 Resistência do concreto	36

4. Prova de Carga Dinâmica.....	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO A – PLANTA BAIXA DO EDIFÍCIO	42
.....	42
ANEXO B – Sondagem Ponto SP-06.....	43
ANEXO C – Tabela 6 NBR ABNT 6122:2019	45

1. INTRODUÇÃO

As fundações profundas são responsáveis por transmitir a carga da edificação ao terreno pela base ou pela ponta, sendo denominadas resistência de ponta e resistência de fuste, respectivamente. Também pode ocorrer uma combinação de ambas, sendo que a ponta ou base deve ser apoiada em profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e, no mínimo, 3,0 m. As estacas estão enquadradas neste tipo de fundação, sendo elas classificadas em diferentes tipos, dentre eles a estaca escavada com trado mecânico com uso de fluido estabilizante. De acordo com a ABNT NBR 6122:2019, as estacas escavadas com fluido estabilizante moldadas *in loco* possuem estabilidade de perfuração assegurada pela ação do fluido estabilizante. A nomenclatura varia de acordo com a forma de perfuração, sendo denominada estacão quando a perfuração é realizada por caçamba acoplada a perfuratriz rotativa e recebe o nome de barrete quando possuir seção retangular se for escavada com um *clamshell*.

A técnica das estacas escavadas que utilizam fluido estabilizante na escavação, surgiu em torno de 1952 (Velloso e Lopes, 2010) e podem ser executadas em diferentes condições de terreno, com grandes dimensões verticais. Para iniciar o processo executivo, é realizada a locação do eixo da estaca e então é escavada e concretada a mureta guia, longitudinalmente ao eixo da parede e enterrada no solo e que possui como função guiar o *clamshell* na execução da estaca.

O processo executivo da estaca tipo barrete é realizado com auxílio de um guindaste sobre esteira, acoplado ao *clamshell*, que perfura o solo até a profundidade especificada em projeto. Durante a escavação é utilizado o fluido, o qual geralmente é a lama bentonítica, para garantir a estabilização das paredes da estaca. Após a finalização da perfuração, com a utilização de guindaste de apoio, a armadura é inserida e sustentada por meio de alças na profundidade exigida pelo projetista. Para realizar a concretagem é necessária a utilização de uma tubulação inserida no fluido, não podendo estar distante mais de 1,50 metros do concreto no interior da estaca. O concreto então é lançado continuamente, não sendo permitida uma interrupção maior do que 30 minutos, pois essa interrupção pode gerar “juntas-frias”, o que é capaz de prejudicar a integridade da estaca.

Neste contexto, este trabalho apresenta um caso real de um edifício de duas torres, em fase executiva de fundação, em que a opção adotada foi a utilização de estaca escavada tipo barrete na região das torres, contendo também estacas hélice contínua nas regiões de periferia.

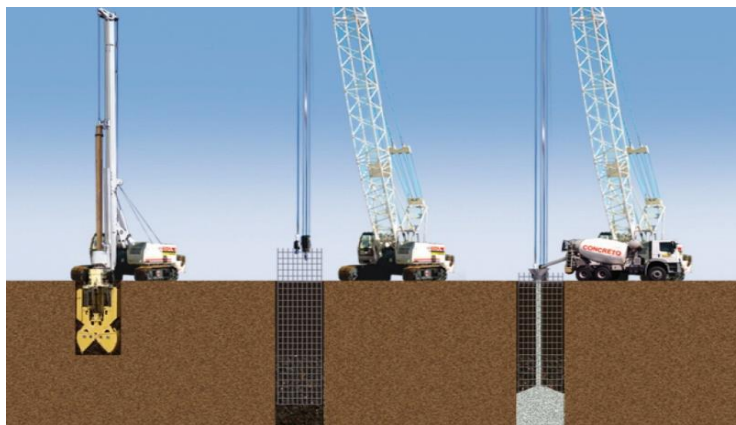


Figura 1 – Processo executivo de estaca barrete (GeoFund, 2022)

1.1 Justificativa

Durante a escolha do tipo de fundação a ser adotado, é necessário considerar os fatores técnicos, econômicos e de prazo, a fim de obter êxito durante a fase construtiva e também durante a vida útil do empreendimento. Quando esses fatores não são observados ainda na fase de projeto, a estrutura pode vir a ser comprometida, inviabilizando ou limitando o desempenho da estrutura. Neste contexto, ao longo deste trabalho será exposto o processo de escolha do tipo de fundação, onde foram estudadas as opções de fundação em uma obra localizada na cidade na cidade de Uberlândia, em que já havia um projeto inicial de estacas hélice contínua nas periferias e bloco estaqueado nas regiões das torres. Durante a fase de análise de projetos, foi optado por não utilizar esse tipo de fundação e foram estudadas as estacas escavadas com fluido estabilizante tipo estação e tipo barrete, sendo que a realizada foi a estaca escavada com fluido estabilizante tipo barrete.

1.2 Objetivo

Analisar as peculiaridades do processo de escolha do tipo de fundação, demonstrando a construção da solução mais adequada diante de prazo executivo e custos, assim como a fase de estudos para decisão de utilização de lama bentonítica ou polímero como fluido estabilizante frente às questões técnicas, ambientais e econômicas. Para tanto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar os aspectos técnicos e econômicos que nortearam a tomada de decisão durante a escolha adequada do tipo de fundação para construção de edifícios altos em Uberlândia/MG;
- Apresentar as vantagens e desvantagens acerca dos tipos de fundação analisados considerando os aspectos quantitativos, qualitativos e de exequibilidade;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os edifícios altos possuem cargas estruturais cada vez mais elevadas e concentradas atualmente. Isso torna necessário o uso de pilares em maior número ou com maiores seções transversais, demandando-se elementos de fundação adequados em função do carregamento. A seguir são apresentadas as características de três tipos de fundação: o bloco estaqueado e a estaca escavada com fluido estabilizante tipo estacão e a estaca escavada com fluido estabilizante tipo barrete.

2.1 BLOCO ESTAQUEADO

O bloco estaqueado é um elemento superficial que se apoia em estacas, mas também recebe suporte do terreno em que está apoiado e interliga os efeitos de carga e recalque entre os demais elementos: solo, estaca e elemento superficial de contato (sapata, bloco, radier) que possua estacas como elemento estrutural (Garcia, 2015). O que difere o radier estaqueado de um grupo comum de estacas é que no grupo de estacas o elemento de ligação bloco de coroamento não está em contato com o solo, como o radier está. Essa diferença interfere no comportamento das estacas, pois o radier passa a exercer tensões sobre o solo, compartilhando as cargas recebidas com as estacas, proporcionando maior capacidade de suporte e prevenção a recalques. Como no caso desse projeto não há compartilhamento de cargas recebidas entre o elemento superficial, não é enquadrado com um radier estaqueado, mas sim um grande bloco estaqueado.

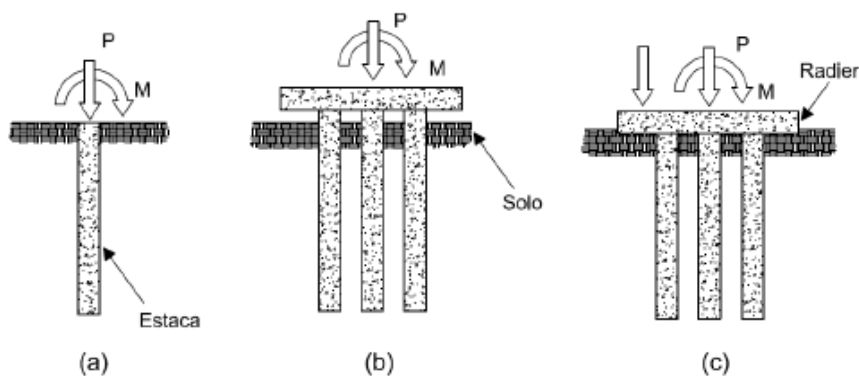


Figura 2 – Sistemas de Fundação (Garcia, 2015)

2.2 ESTACAS ESCAVADAS COM FLUÍDO ESTABILIZANTE

Segundo Velloso e Lopes (2010), as estacas escavadas são executadas por uma perfuração ou escavação no terreno e posteriormente enchida de concreto. Durante a escavação,

as paredes podem ou não serem suportadas por um revestimento ou por fluido estabilizante, sendo que a perfuração não suportada é permitida somente em solos argilosos que estejam acima do lençol freático.

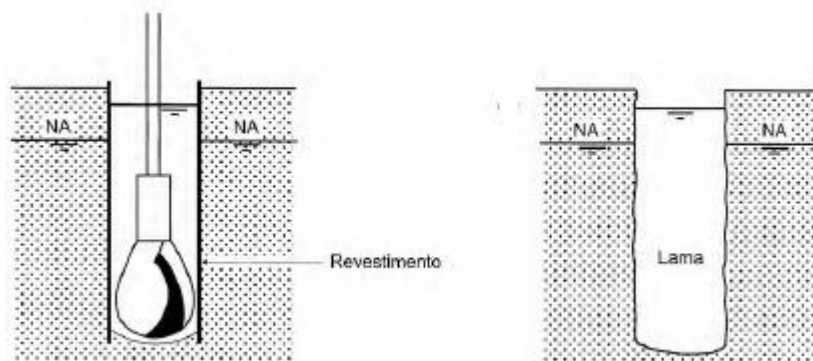


Figura 3 - Execução de estaca escavada com revestimento e com fluido estabilizante (Velloso e Lopes, 2010)

As estacas escavadas com fluido estabilizante são utilizadas em fundações de edifícios com altos carregamentos e que possuem elevada concentração de cargas nos pilares, além de porte que possibilite o uso dos equipamentos necessários para realizar o procedimento. Elas recebem o nome de estação quando possuem seção circular e barrete quando possuem seção retangular.

2.3 FLUIDO ESTABILIZANTE

2.3.1 Ação Estabilizante do Fluido

De acordo com a ABNT NBR 6122:2019, para a estabilização das paredes, pode ser utilizada a lama bentonítica ou o fluido polimérico. O fluido estabilizante é misturado em equipamentos de alta turbulência com água com baixo teor de dureza e pH neutro, possuindo variação de viscosidade, densidade e reboco de acordo com cada caso.

2.3.2 Lama Bentonítica

A bentonita é o nome genérico da argila composta predominantemente de um mineral argiloso, o silicato hidratado de alumínio. Esse material possui alta capacidade de absorção de água, de 6 a 7 vezes o seu peso próprio, aumentando seu volume de 15 a 20 vezes (Mota, 2010). Quando ocorre essa mistura, há a formação da lama bentonítica, a qual possui viscosidade superior à da água. As principais características desse tipo de fluido são: estabilidade, capacidade de formação de película impermeável e tixotropia. A estabilidade é adquirida pela não decantação das partículas de bentonita em suspensão, mesmo em longos períodos de tempo.

A capacidade de formação de película impermeável é devido à superfície porosa. Já a terceira, é a capacidade de, quando agitada, tornar-se líquida e após cessar o movimento, de formar uma estrutura em estado gelatinoso.

Para realizar a mistura da lama bentonítica com água, é necessário que a água possua pH entre 7 e 11 e dureza entre 0 e 120 ppm. Caso isso não seja atingido, deve haver o tratamento com carbonato de sódio antes da mistura. A Tabela 1 apresenta as propriedades para densidade, viscosidade, pH e teor de areia da lama bentonítica, de acordo com a ABNT NBR 6122:2019.

Tabela 1 - Características da lama bentonítica para perfuração (ABNT NBR 6122:2019)

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,025 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	30 s/qt a 90 s/qt	Funil Marsh
pH	7 a 11	Indicador de pH
Teor de areia	Até 3%	Baroid sand content ou similar

Como a lama bentonítica possui densidade entre 1,025 e 1,100 g/cm³ e característica tixotrópica, o descarte do fluido deve ser realizado de forma controlada, pois a sedimentação ocorre rapidamente, principalmente no fundo dos rios. De acordo com a norma ABNT NBR 10004:2004, a lama bentonítica é classificada como Resíduo Classe II B (inertes não perigosos) e, quando misturada com solo de escavação, deve ser destinada a aterros sanitários que recebam materiais de classe II. Quando descartado de forma incorreta, o fluido pode ser prejudicial ao meio ambiente, pois após a sedimentação dele impede a oxigenação, prejudicando assim a fauna e flora local (Tera Ambiental, 2016). O descarte correto é realizado com o uso de caminhões especiais com sistemas de vácuo, os quais realizam o transporte da lama bentonítica até o aterro sanitário adequado. Para isso, é necessário a emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), que é um documento emitido pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) que possibilita rastrear o resíduo desde sua geração até a destinação final.

2.3.3 Polímero

O polímero é um material biodegradável que pode ser utilizado para substituir a lama bentonítica como fluido estabilizante na escavação de estacas. Quando ele entra em contato com água, as moléculas são conectadas por longas cadeias, o que causa inchaço na estrutura, caracterizando maior viscosidade ao material (Bonezi, 2010).

Segundo a ABNT NBR 6122:2019, cada polímero tem uma função específica que varia de acordo com o tipo de solo que será escavado. O fluido deve conter um ou mais polímeros para garantir a densidade, viscosidade e reboco diante de cada solo perfurado. São exemplos de polímeros utilizados para escavação de estacas escavadas: PHPA (poliacrilamida), Goma Xantana, PAC (celulose polianiônica), CMC (carboximetilcelulose). Assim como a lama bentonítica possui valores pré-determinados para seu uso, os polímeros também seguem recomendações normativas. Independentemente do polímero utilizado, ele deve possuir as características apresentadas na norma ABNT NBR 6122:2019, as quais estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características do polímero para perfuração (ABNT NBR 6122:2019)

Propriedades	Valores	Equipamentos para ensaio
Densidade	1,005 g/cm ³ a 1,10 g/cm ³	Densímetro
Viscosidade	35 s/qt a 120 s/qt	Funil Marsh
pH	9 a 12	Indicador de pH
Teor de areia	Até 4,5%	Baroid sand content ou similar

2.3.4 Armazenamento do fluido

O armazenamento do fluido em obra é de grande complexidade, pois necessita de grandes silos para realizar a mistura com água e para manter quantidade suficiente de fluido para ser utilizado durante a escavação e concretagem das estacas.

2.4 PROCESSO EXECUTIVO DA ESTACA BARRETE

O procedimento executivo da estaca barrete segue à norma ABNT NBR 6122:2019 e às especificações de profundidade, tipologia do concreto e dimensões de armação são identificadas individualmente de acordo com cada projeto.

2.4.1 Locação e execução da mureta-guia

Para iniciar a escavação da estaca barrete, é necessário realizar a locação da estaca e, consequentemente, da mureta-guia (Figura 4). A locação do eixo da estaca pode ser feita por topografia ou por meio de trenas, de acordo com os eixos marcados no gabarito da obra. De acordo com a norma ABNT NBR 6122:2019, após essa etapa é realizada a escavação da mureta-guia com altura de 1 metro e dimensões internas iguais às da estaca, uma vez que esta objetiva guiar o *clamshell* na escavação para que não haja deslocamento do eixo da estaca. Então, é realizado o posicionamento da fôrma e da armação para concretagem, sendo utilizado concreto de baixa resistência pelo fato de a mureta-guia não ser uma peça estrutural.



Figura 4 - Etapas de execução da mureta-guia (Autora, 2022)

2.4.2 Escavação

Para que seja possível o início da escavação das estacas em uma obra, é necessário realizar os ensaios de peso específico, viscosidade e pH para certificar as características do fluido estabilizante, no caso deste trabalho, o polímero. Os resultados dos testes devem estar de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 2 deste trabalho.

A escavação é realizada com auxílio do *clamshell* acoplado em guindaste e simultaneamente com a troca do fluido estabilizante, o qual é transferido dos silos de armazenamento para o interior do fuste durante a escavação.

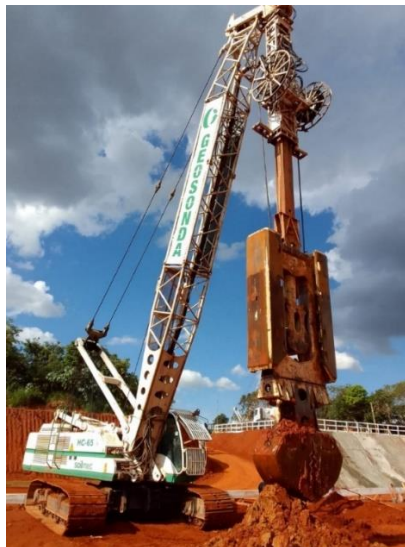


Figura 5 - Escavação de estaca barrete utilizando polímero (Autora, 2022)

A armação varia de acordo com cada projeto e é inserida logo após o término da escavação da estaca barrete com uso de guindaste auxiliar devido às grandes dimensões e peso. É feito o uso de espaçadores na armação, a fim de garantir o cobrimento necessário.

2.4.3 Concretagem

De acordo com a norma ABNT NBR 6122:2019, o concreto utilizado na estaca barrete deve atender à Tabela 4 da mesma quanto à classe de agressividade, mas também devem ser observadas as seguintes características:

- Para o concreto C30:
 - Abatimento entre 220 mm e 260 mm;
 - Diâmetro de agregado de 9,5 mm a 25 mm
 - Teor de exsudação < 4%;
 - Consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³;
 - Fator a/c ≤ 0,6.

- Para o concreto C40:
 - Abatimento entre 220 mm e 260 mm;
 - Diâmetro de agregado de 9,5 mm a 25 mm;
 - Teor de exsudação < 4%;
 - Consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³;
 - Fator a/c ≤ 0,45.

O procedimento executivo da concretagem das estacas escavadas com fluido estabilizante tipo barrete é realizado com uso do tubo tremonha, o qual é composto por elementos de tubulação rosqueáveis com um funil no topo. A tubulação é imersa no polímero que está dentro da estaca e a mistura do concreto com o fluido é impedida pela presença de uma bola plástica que funciona como um êmbolo, expulsando o fluido pela ação do peso do concreto (Velloso e Lopes, 2010). Então, o concreto é lançado continuamente, evitando intervalos superiores a 30 minutos para impedir a formação de “juntas frias”, que são capazes de prejudicar a continuidade do fuste da estaca.

Durante a concretagem, o tubo tremonha deve ser mantido 1,5 metros acima do nível de concreto. A cota de arrasamento da estaca é prevista em projeto, porém é recomendável realizar a concretagem no mínimo 50 centímetros acima da cota prevista, uma vez que o concreto

presente na parte superior da estaca esteve em contato com o polímero e apresenta menor resistência. Ou seja, esse concreto deve ser completamente removido durante o arrasamento da estaca.

É importante ressaltar que, de acordo com a norma, não é permitida a concretagem de estacas com espaçamento inferior a cinco diâmetros em intervalo inferior a 12 horas e que é necessário realizar o controle de subida de concreto a cada caminhão betoneira lançado na estaca, com a finalidade de calcular a subida teórica e a real, sendo assim possível saber a porcentagem de sobre consumo de concreto na estaca.

2.4.3.1 Controle do concreto

Antes do início da execução das estacas, é necessário que a empresa responsável pelo fornecimento do concreto apresente a carta traço do concreto que será utilizado. Logo após a chegada dos caminhões betoneira em obra, é realizado o teste de abatimento do concreto, que tem como finalidade avaliar a consistência do concreto no estado fresco. Caso não seja atendido o resultado exigido pelo traço indicado, o concreto pode obter baixa resistência.

Durante o processo executivo da estaca, nenhum caminhão betoneira com concreto deve ser utilizado após atingir o prazo limite de 150 minutos após a dosagem na usina, local onde é realizada a primeira adição de água (ABNT NBR 7212).

A rastreabilidade do concreto utilizado na estaca barrete deve ser bem detalhada, pois caso haja alguma alteração nos resultados de resistência dos corpos de prova moldados, é necessário ter o controle de qual estaca recebeu este concreto. Além disso, o controle da execução de cada estaca também deve ser preciso, devendo conter:

- Identificações gerais – Obra, local, nome do operador, executor, contratante;
- Características do equipamento;
- Identificação da estaca – Diâmetro, nome ou número conforme projeto de fundação;
- Comprimento real da estaca abaixo da cota de arrasamento;
- Cota da mureta guia, cota do fundo e de arrasamento;
- Controle de posicionamento da armadura durante a concretagem;
- Desaprumo e desvio de locação;
- Especificação dos materiais e insumos utilizados;

- Consumo de materiais por estaca e comparação trecho a trecho do consumo real em relação ao teórico;
- Anotações dos horários de início e fim de cada etapa de concretagem;
- Resultados dos ensaios do fluido;
- Observações relevantes;
- Nome e assinatura do executor;
- Nome e assinatura do contratante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Obra

O empreendimento situado na cidade de Uberlândia/MG consiste em um edifício residencial com duas torres, sendo a Torre B a mais alta, composta por 41 pavimentos (subsolo, térreo, sobressolo, pilotis, 28 pavimentos tipo, 7 pavimentos de cobertura, barrilete e caixa d'água). Já a Torre A possui 35 pavimentos (subsolo, térreo, sobressolo, pilotis, 26 pavimentos tipo, 3 pavimentos de cobertura, barrilete e caixa d'água). A altura das torres é de 113,225 m para a Torre A e de 137,825 m para a Torre B. Apesar de existir duas torres e pavimentos inferiores interligados, a estrutura de ambas as torres são independentes e construídas simultaneamente.

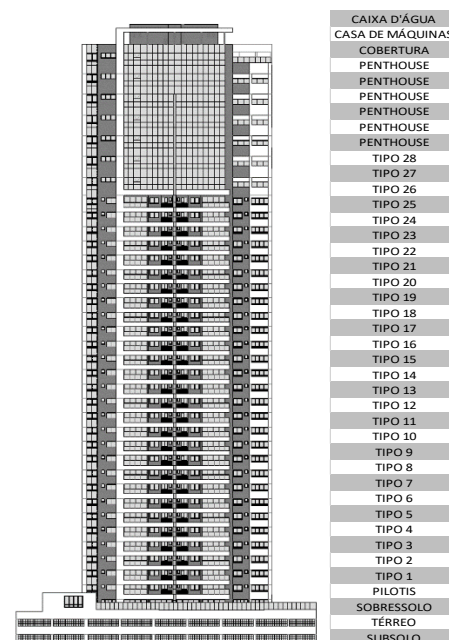


Figura 6 – Fachada da Torre B (Autora, 2022)

O pavimento tipo da Torre B, a qual possui 25 pilares, sendo os dois de maiores dimensões os pilares P17 e P18, com formato “U”. Já os menores pilares, P12 e P13, possuem dimensões de 30 x120 centímetros (Figura 7 e ANEXO A).

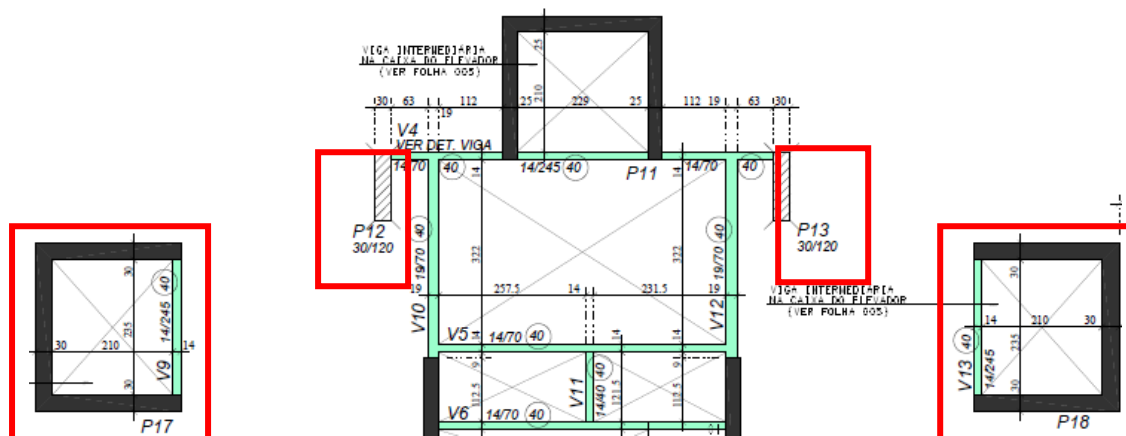


Figura 7 – Dimensões dos pilares (Autora, 2022)

3.2 Caracterização geológico-geotécnicas

A caracterização do solo envolve o reconhecimento do tipo de material que está presente naquela região, os parâmetros de resistência e deformabilidade. O intuito da inspeção geológica é de compreender o comportamento em termos de capacidade de suporte e deformabilidade quando submetido aos carregamentos da estrutura, além de verificar o nível de água no terreno. A partir desse estudo, o projetista realiza a análise para o melhor tipo de fundação a ser utilizado no empreendimento.

As sondagens são realizadas de acordo com a ABNT NBR 6484:2001, a qual descreve a aparelhagem a ser utilizada e o processo executivo e também de acordo com a ABNT NBR 8036:1983, que apresenta que os pontos de sondagem devem estar presentes um a cada 200 m² de área de projeção em planta do edifício, até 1200 m². Ultrapassada essa área, deve-se realizar uma sondagem para cada 400 m², até 2400 m². Já acima deste valor, o número de sondagens é fixado particularmente para cada empreendimento. Também é apresentado o número mínimo de sondagens para pequenas áreas, os quais são:

- Dois para área de projeção em planta do edifício até 200 m²;
- Três para área entre 200 m² e 400 m².

A obra apresentada possui um terreno de 7.635 m², sendo que 4.523 m² são ocupados pela projeção em planta do edifício em questão. Foram executados 12 furos de simples reconhecimento com SPT, perfazendo um total perfurado de 428 metros lineares (Figura 8).

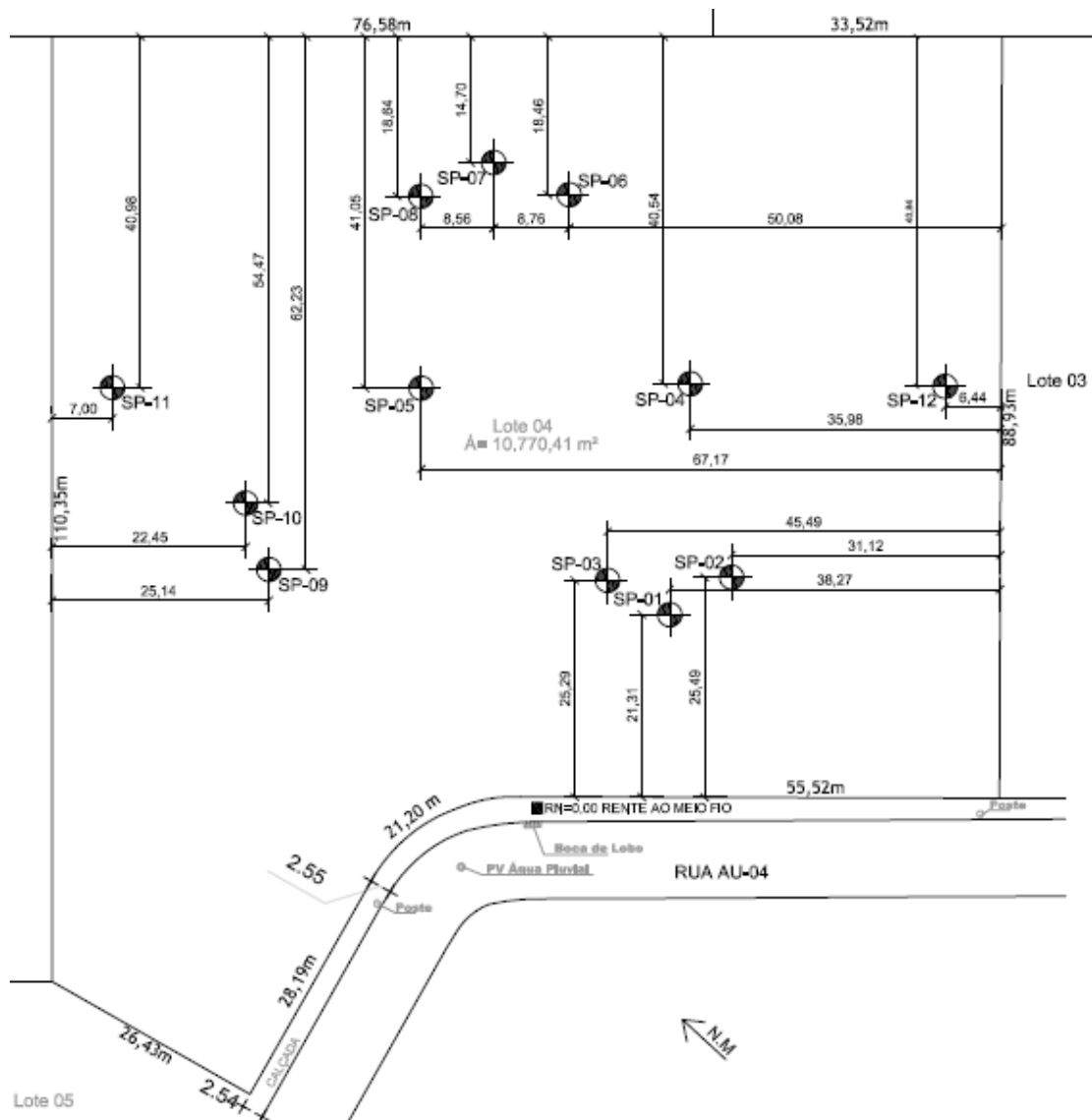


Figura 8 – Localização dos pontos de sondagem (Autora, 2022)

De acordo com o relatório de sondagem do ponto SP-06, localizado na região da torre B (ANEXO B), a mais alta, é possível notar que o nível de água está na cota 11,85 m. Até os 11 metros há a presença de material argiloso, de mole a muito mole. Após essa cota, há a presença de areia argilosa, de pouco compacta a medianamente compacta até os 15 m. Entre 15 e 16 m é encontrada argila arenosa, mole. Após esta cota, até os 26 m está presente areia argilosa pouco compacta a medianamente compacta. Após isso, até os 36 m há a presença de areia argilosa, medianamente compacta a muito compacta. O limite da sondagem ocorre aos 37,45 m, local onde possui argila arenosa, dura e atingiu a rocha.

Para melhor visualização da localização dos pontos de sondagem em relação a estrutura do empreendimento, estes são contrapostos ao projeto arquitetônico (Figura 9).

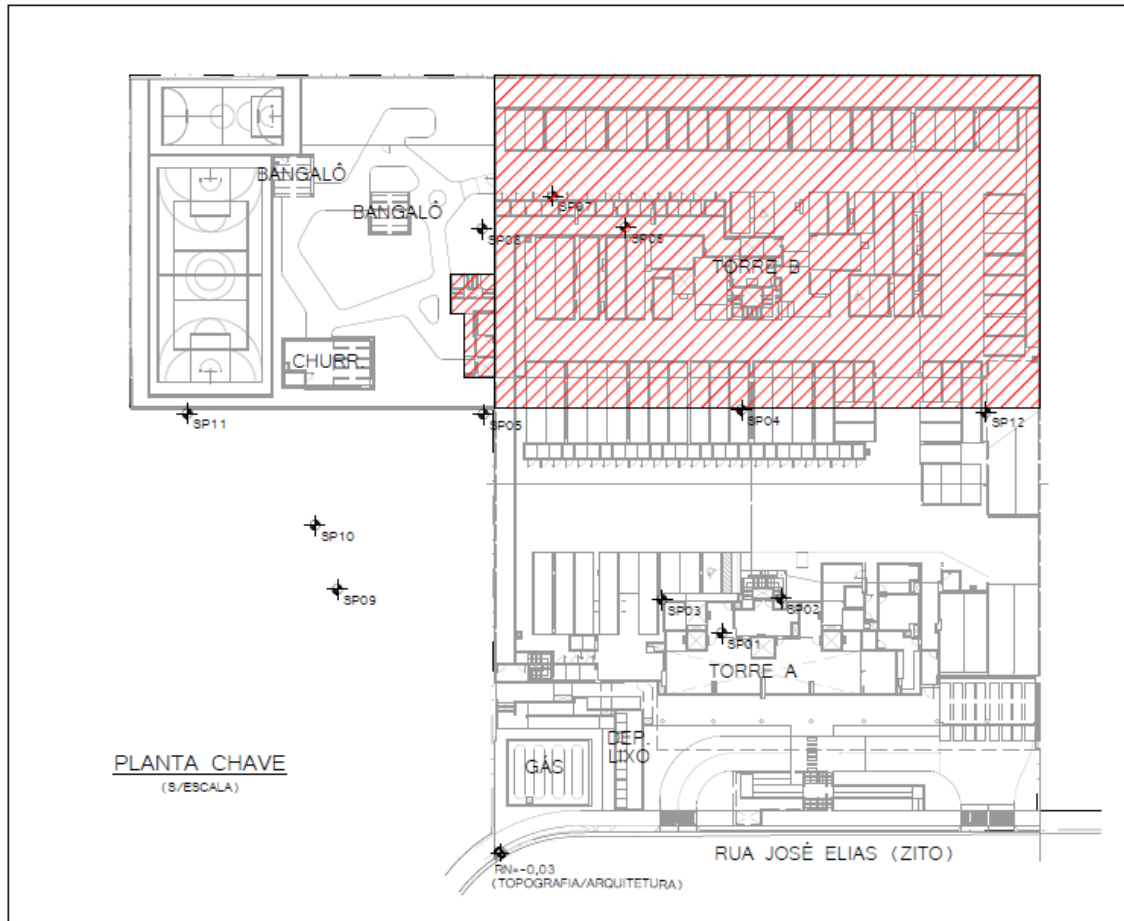


Figura 9 – Sobreposição dos furos de sondagem na planta chave do empreendimento (Autora,2022)

3.3 Projeto Inicial de Fundações

Levando em consideração a sondagem, o levantamento topográfico e o projeto arquitetônico do empreendimento, o projeto inicial proposto pelo projetista considera o emprego de estacas hélice contínua para as regiões de periferia e bloco estaqueado nas regiões das torres. Inicialmente, a Torre A conta com 207 estacas hélice contínua de $\varnothing 70$ cm de profundidade no bloco e a Torre B, a de maior altura, possuía 198 estacas de $\varnothing 80$ cm (Figuras 10 e 11). O bloco da primeira torre possui estacas de 26 m de profundidade e a segunda de 27 m, totalizando 10.728 metros lineares de perfuração. O volume de concreto nominal das estacas do bloco A é de 2.071 m³ e do bloco B de 2.687 m³, totalizando 4.758 m³ de concreto f_{ck} igual a 30MPa. Além disso, o volume de concreto no bloco é de 1.397 m³ no A e 1.654 m³ no B, um total de 3.052 m³ de concreto com f_{ck} igual a 40 MPa.

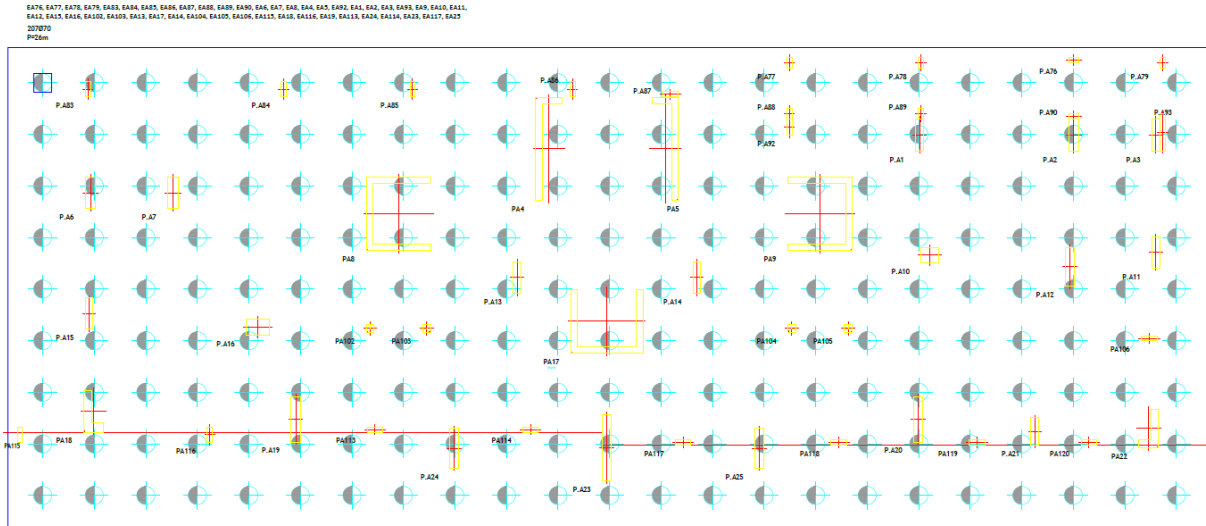


Figura 10 – Bloco estaqueado Torre A (Autora, 2022)

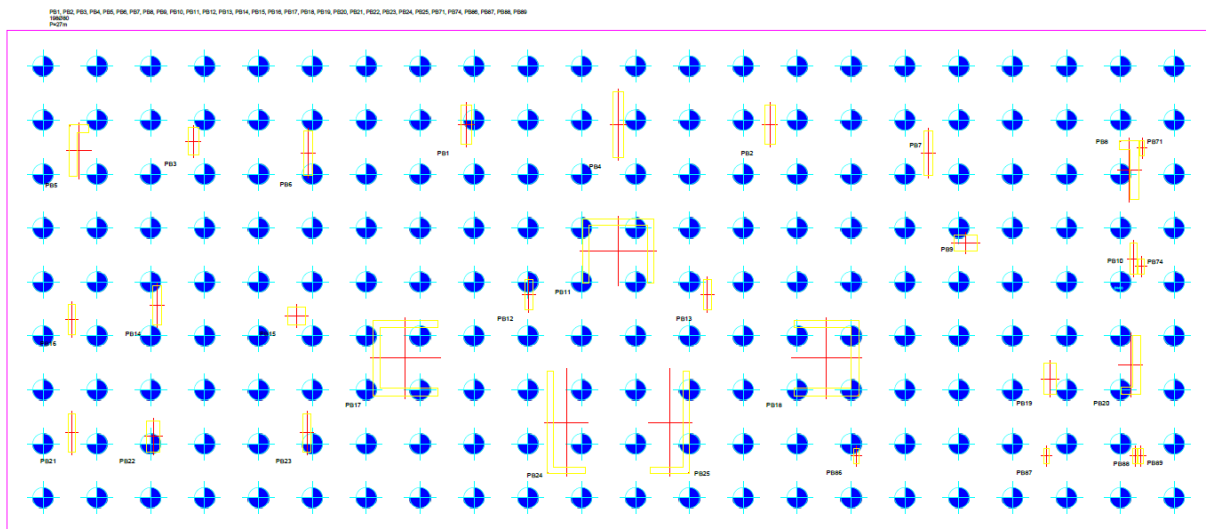


Figura 11 – Bloco estaqueado Torre B (Autora, 2022)

De acordo com o projeto inicialmente proposto pelo projetista, a execução da estrutura das torres só poderia ser iniciada após a finalização da perfuração e concretagem de todas as estacas e do bloco, o que necessitaria de um longo prazo de execução, visto que esta fundação seria composta por 207 estacas hélice contínua de $\varnothing 70$ cm e 198 de $\varnothing 80$ cm, uma vez que a produtividade média é de 7 estacas diárias. Outro aspecto importante nessa análise, diz respeito ao consumo elevado de concreto e aço das estacas do bloco, que impactam significativamente o custo e prazo, quando comparado aos primeiros estudos em estacão.

Além disso, há o risco de ocorrerem intercorrências, como exsudação em uma ou mais estacas, o que necessita de realizar uma revisão no projeto já durante a fase executiva, paralisando a execução por um período até ser proposta a solução para a situação. Assim como,

resultados de resistência de concreto das estacas abaixo do exigido em projeto, demandam a realização de reforços na fundação, o que levar ao impedimento da continuidade plena da obra até a finalização do bloco estaqueado. Ambas essas situações resultam em atraso executivo, visto que a execução da estrutura não pode ser iniciada antes da finalização completa dos blocos estaqueados.

3.4 Segunda opção de projeto de fundações

Diante da possibilidade de dilatação de prazo e dos altos volumes de concreto e consumo de aço na fundação em bloco estaqueado, é apresentada uma segunda solução pelo projetista: estaca escavada com fluido estabilizante tipo estacão. Este projeto apresenta quatro diâmetros diferentes de estacas: $\varnothing 110$ cm, $\varnothing 120$ cm, $\varnothing 130$ cm, $\varnothing 140$ cm e $\varnothing 150$ cm, com capacidades de carga de 4.150 kN, 4.550 kN, 5.300 kN, 6.150 kN e 7.050 kN, respectivamente.

Na região da Torre A, a quantidade de estacas são:

- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 110$ cm PARA ATÉ 4.100 kN (29x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 120$ cm PARA ATÉ 4.550 kN (11x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 130$ cm PARA ATÉ 5.300 kN (14x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 140$ cm PARA ATÉ 6.150 kN (08x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 150$ cm PARA ATÉ 7.050 kN (04x)

Na região da Torre B a quantidade de estacas apresentadas em projeto são:

- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 110$ cm PARA ATÉ 4.150 kN (19x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 120$ cm PARA ATÉ 4.550 kN (26x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 130$ cm PARA ATÉ 5.300 kN (16x)
- ESTACA ESCAVADA (ESTACÃO) $\varnothing 150$ cm PARA ATÉ 7.050 kN (14x)

Em combinação das duas regiões de torres, há 141 estacões na segunda opção de projeto apresentado, totalizando 4.092 metros lineares de escavação. O volume total de concreto sem perda para as estacas é de 5.001 m³. Diferente do projeto em bloco estaqueado, nessa solução torna-se necessário o uso de vários blocos de fundação individualizados, conseqüentemente tem-se elevação do volume de concreto e aço necessários à sua execução (Figuras 12 e 13).

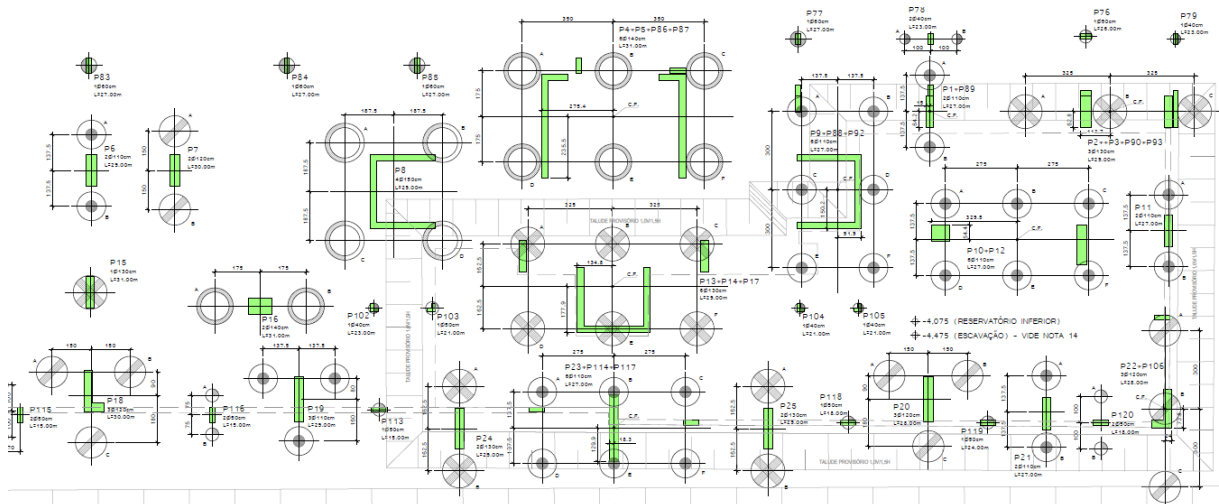


Figura 12 – Proposta de Fundação em estação para a Torre A (Autora, 2022)

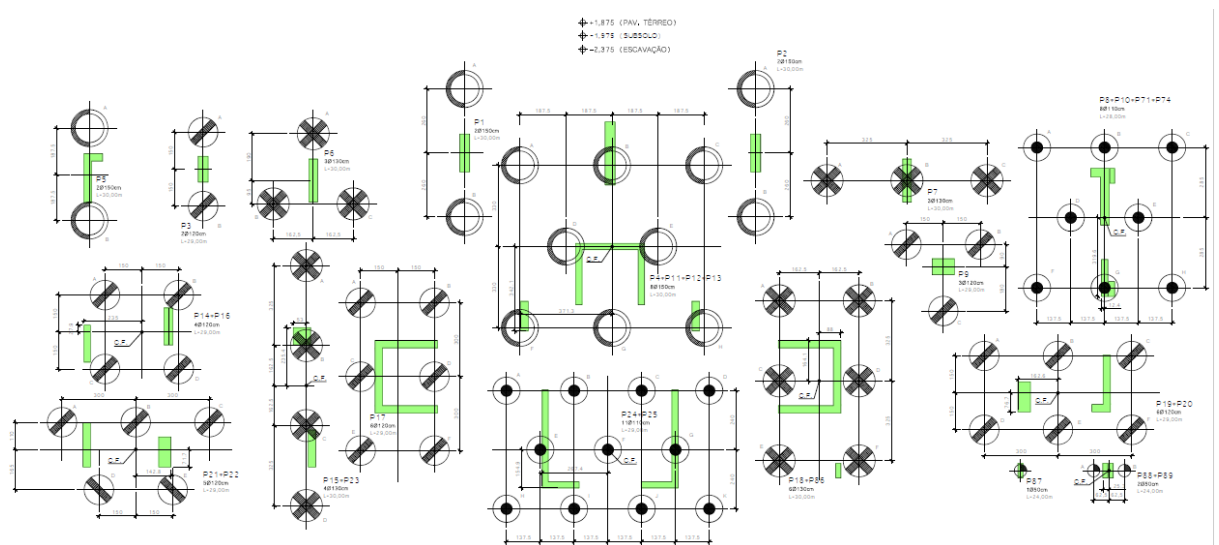


Figura 13 – Proposta de Fundação em estação para a Torre B (Autora, 2022)

Apesar de o uso dos estacões ser uma opção com menor quantidade de estacas, o volume de concreto e aço utilizado nessa solução é muito elevado, sendo que o maior bloco possui dimensões de 9,30 x 9,60 x 2,80 m e volume de 250 m³ de concreto, localizado na região dos elevadores. O volume de concreto para todos os blocos de fundação neste projeto é de 2.620 m³. Diante disso, o prazo de execução da fundação em estação e blocos é menor quando comparado ao bloco estaqueado, porém com custos elevados, não atendendo ao orçamento da obra.

3.5 Projeto de Fundações em Estacas Barrete

Diante do fato de o projeto em estacões não atender o cronograma físico da obra por possuir grandes dimensões e volumes, o projetista apresentou outra solução, ainda em estacas escavadas. O projeto final é em estaca barrete, com uso de fluido estabilizante, formato retangular e apresenta 75 estacas com dimensões de 70x250 cm, 80x250 cm, 100x250 cm e 120x250 cm, com capacidades de carga de 7.000 kN, 8.000 kN, 10.000 kN e 12.000 kN, respectivamente, e profundidades variando entre 26,00m e 31,00m.

Na Torre A a quantidade de estacas é:

- ESTACA TIPO BARRETE 70 x 250cm PARA ATÉ 7.000 kN (12x)
- ESTACA TIPO BARRETE 100 x 250cm PARA ATÉ 10.000 kN (17x)
- ESTACA TIPO BARRETE 120 x 250cm PARA ATÉ 12.000 kN (05x)

Na Torre B a quantidade de estacas é:

- ESTACA TIPO BARRETE 70 x 250cm PARA 7.000 kN (08x)
- ESTACA TIPO BARRETE 80 x 250cm PARA 8.000 kN (09x)
- ESTACA TIPO BARRETE 100 x 250cm PARA 10.000 kN (07x)
- ESTACA TIPO BARRETE 120 x 250cm PARA 12.000 kN (17x)

O empreendimento conta com quatro pavimentos de área comum, onde estão localizados as garagens, piscina, salões de festa, academia, brinquedoteca, parque infantil, entre outros. Nas periferias o projeto de fundações é em hélice contínua e, por já possuir este tipo de estaca na obra, ela também está presente na Torre A na região da casa de máquinas e geradores (Figura 14).

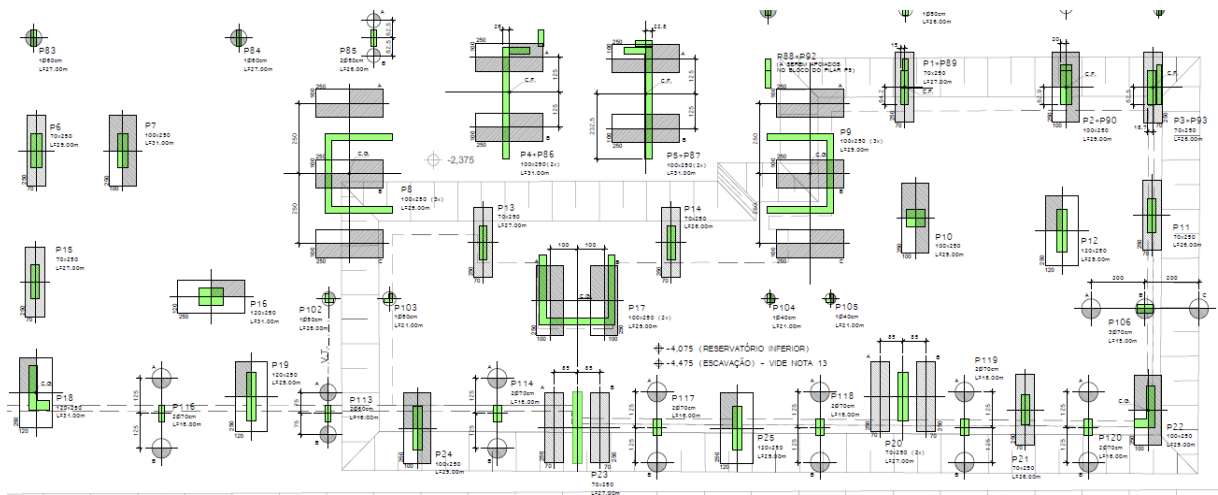


Figura 14 - Projeto em estaca barrete Torre A (Autora, 2022)

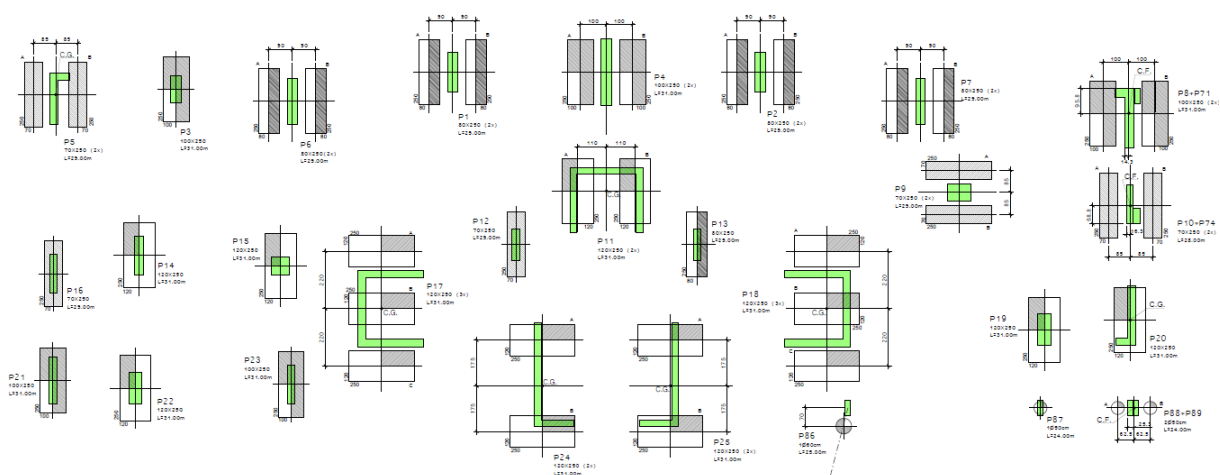


Figura 15 - Projeto em estaca barrete Torre B (Autora, 2022)

Esta solução apresenta menor quantidade de estacas e de prazo de execução, além de possuir menor volume de escavação e concreto para os blocos de fundação, sendo o volume de concreto nas estacas de 5.316 m³, uma diferença de 30% menor em relação ao volume de blocos apresentados no projeto de estacão. Isso é possível pelo fato de as estacas barretes possuírem alta capacidade de carga, sendo capazes de suportar a carga dos edifícios altos em menor quantidade quando comparadas ao bloco estaqueado e ao estacão. Além disso, esse tipo de fundação não apresenta vibração, não afeta as estruturas vizinhas, possui rápida execução e possui adaptação gradual às condições físicas do terreno.

Para esse tipo de estaca, é necessário realizar o estudo entre os tipos de fluidos existentes, a fim de encontrar a melhor solução para cada projeto. No caso da obra em questão, o uso inicial é da lama bentonítica, uma vez que o custo para sua aquisição é menor que o dos polímeros. Porém, o descarte da lama deve ser controlado e realizado por caminhões à vácuo e destinados a aterros que recebem resíduos Classe II, o que dificulta a logística de execução, pois o solo escavado é misturado com a lama durante a execução das estacas e não pode ser utilizado novamente, ou seja, deve ser levado ao aterro a cada escavação. Além da logística difícil, os caminhões disponíveis possuem capacidade para no máximo 10 m³ de resíduo, o que acarreta diversas viagens, elevando muito os custos para execução.

Então, foi analisado o uso do polímero como fluido estabilizante, que, apesar de ser mais caro para aquisição, é um material biodegradável e que não necessita de descarte. O solo que entra em contato com o fluido durante a execução das estacas pode ser utilizado como bota-fora. O volume de escavação total das estacas barrete é de aproximadamente 438 m³, o que implica em 44 viagens para limpeza da lama, além dos custos para descarte no aterro destinado.

Com isso, os custos para o uso do polímero, quando contabilizado o descarte, é menor do que os custos para o uso da lama bentonítica, além de uma maior facilidade na execução, pois é um material biodegradável.

3.6 Comparativo entre projetos propostos

Algumas características exclusivas de cada obra podem impor um certo tipo de fundação, enquanto outras permitem uma variedade de soluções (Velloso e Lopes, 2010). Neste caso, são apresentadas três alternativas para a fundação da obra e é realizada a escolha com base em menores custos e prazo executivo.

Em termos de capacidade de carga, o bloco estaqueado não é apenas a soma algébrica das capacidades individuais de cada elemento do conjunto, porém pode ser maior em face da interação existente entre as partes (Garcia, 2015). Já as estacas escavadas com fluido estabilizante, possuem alta capacidade de carga e grandes dimensões, o que possibilita a redução da quantidade de estacas.

No projeto de bloco estaqueado é apresentada uma elevada quantidade de estacas, as quais necessitam de elevadas quantidades de aço e concreto, além de prazos dilatados para execução. Já no caso do projeto em estacão, há uma redução da quantidade de estacas, porém as dimensões dos blocos de fundação são significativas, o que demandaria custos e prazo elevados para execução. Em contrapartida, a fundação em estaca tipo barrete possui um menor número de estacas, quando comparada aos projetos anteriores e menores dimensões dos blocos de fundação quando comparada ao projeto em estacão e estacas hélice.

O valor por unidade de estaca das duas soluções iniciais é inferior ao valor unitário da estaca barrete, uma vez que ela possui dimensões maiores e processo executivo mais demorado. Porém, ao comparar em termos de custo global de execução das propostas de solução de fundação, tem-se que a proposta em bloco estaqueado e estacão apresentam custo superior em 42% e 16% frente a solução adotada em estaca barrete, respectivamente, devido à menor quantidade de estacas executadas no projeto final (Tabela 3).

Tabela 3- Comparativo de custos entre fundações (Autora, 2022)

COMPARATIVO DE CUSTOS			
BLOCO ESTAQUEADO X ESTACÃO X BARRETE			
Projeto em Bloco Estaqueado - Torre B (Estacas)			
Itens	Custo com Material (R\$)	Custo de Mão de Obra (R\$)	Custo Total do Insumo (R\$)
Aço (Armado)	R\$ 621.420,60	R\$ 155.355,15	R\$ 776.775,75
Concreto	R\$ 5.437.430,22	-	R\$ 5.437.430,22
Escavação Mecanizada + Mobilização de Equipamento	R\$ 2.565.056,41	R\$ 452.657,01	R\$ 3.017.713,42
Retirada de Material Escavado	R\$ 496.395,93	R\$ 330.930,62	R\$ 827.326,55
Total	R\$ 8.623.907,22	R\$ 608.012,16	R\$ 10.059.245,93

Projeto em Estação - Torre B (Estacas)			
Itens	Custo com Material (R\$)	Custo de Mão de Obra (R\$)	Custo Total do Insumo (R\$)
Aço (Armado)	R\$ 1.613.055,48	R\$ 329.300,99	R\$ 1.942.356,47
Concreto C40	R\$ 3.503.854,19	R\$ -	R\$ 3.503.854,19
Escavação Mecanizada + Mobilização de Equipamento	R\$ 1.248.622,11	R\$ 182.267,23	R\$ 1.430.889,34
Retirada de Material Escavado	R\$ 176.250,00	R\$ 1.376.850,78	R\$ 1.553.100,78
Total	R\$ 6.541.781,78	R\$ 1.888.419,00	R\$ 8.430.200,78

Projeto em Estaca Barrete - Torre B (Estacas)			
Itens	Custo com Material (R\$)	Custo de Mão de Obra (R\$)	Custo Total do Insumo (R\$)
Aço (Armado)	R\$ 894.325,96	R\$ 180.856,74	R\$ 1.075.182,70
Concreto C30	R\$ 2.932.528,28	R\$ -	R\$ 2.932.528,28
Escavação Mecanizada + Mobilização de Equipamento	R\$ 1.999.360,44	R\$ 299.000,00	R\$ 2.298.360,46
Retirada de Material Escavado	R\$ 140.625,00	R\$ 647.096,51	R\$ 787.721,51
Total	R\$ 5.966.839,68	R\$ 1.126.953,25	R\$ 7.093.792,95

Os custos por natureza, os quais englobam concreto, aço e o prazo executivo diferem em cada solução apresentada. A menor quantidade de estacas é na solução em estacas barrete, mesmo o volume de concreto sendo o mais alto. Porém, quando analisado o volume de concreto para os blocos, os projetos em bloco estaqueado e estação são muito elevados. Logo, o volume total de concreto no projeto em estacas barrete são inferiores (Tabela 4).

Além disso, houve influência no custo indireto da obra, uma vez que o prazo executivo das estacas barrete foi inferior ao das soluções em bloco estaqueado e estação. Com isso, os gastos com equipe de produção, canteiro de obras, equipe administrativa, entre outros também são inferiores devido à redução de prazo de execução.

Tabela 4 – Resumo comparativo entre bloco estaqueado x estação x barrete (Autora, 2022)

	Quantidade (estacas)	Volume (m ³) (estacas)	Volume (m ³) (blocos)	Volume Total (m ³)	Custo Total
Bloco Estaqueado	405	4.758	3.052	7.810	R\$ 10.059.245,93
Estação	141	5.001	2.620	7.621	R\$ 8.430.200,78
Barrete	75	5.316	798	6.114	R\$ 7.093.792,95

Fazendo uma comparação entre o custo gasto para a execução, diluído no tempo que as fundações levam para ser executadas, é possível notar a grande diferença entre o custo delas (Figura 16). Também, a execução das estacas barrete, além de possuir economia, apresenta redução de prazo de execução quando comparado às outras soluções propostas.

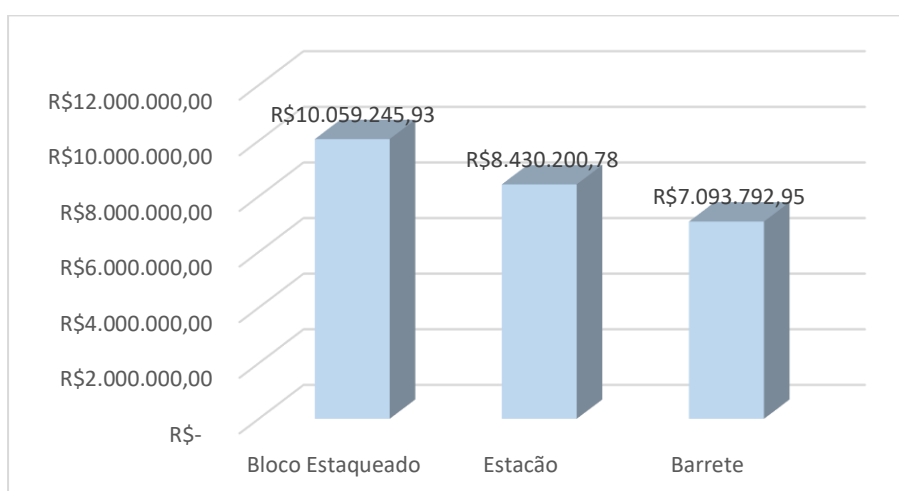


Figura 16 - Custos dos tipos de fundações (Autora, 2022)

3.7 Processo Executivo

A primeira etapa realizada na obra é a escavação do terreno natural até a cota do pavimento subsolo e a mobilização dos equipamentos para execução das estacas barrete, como os guindastes para sustentação do *clamshell* e movimentação das armações, os silos para armazenamento do polímero (Figura 17) e as armações (Figura 18).



Figura 17 - Silos para armazenamento do polímero (Autora, 2022)



Figura 18 - Armações das estacas barrete (Autora, 2022)

Antes do início da execução das estacas barrete, é necessário realizar os ensaios das características da água de mistura e do polímero, de acordo com a Tabela 2 deste trabalho, da norma ABNT NBR 6122:2019. Então, é feito ensaio para medir o pH e a pureza da água (Figura 19). Então, caso seja necessário, é feita a correção do pH da água, no caso desta obra, é utilizada a barrilha leve em proporções de 500 gramas a cada 3.000 litros de água (Figura 20).



Figura 19 - Teste do pH da água



Figura 20 - Barrilha leve para correção do pH da água (Autora, 2022)

Após a correção, é feita a mistura do polímero, o AMC CR 650 RD (Figura 21) nesta obra. Ele é utilizado em proporções de 2 quilos para cada 3.000 litros de água a fim de proporcionar viscosidade para a mistura.



Figura 21 - Polímero AMC CR 650 RD (Autora, 2022)

Então, é feito o teste de viscosidade com o uso de um funil e a pesagem da densidade da mistura (Figura 22). O teste final é a medição do pH do fluido e de sua pureza (Figura 23).



Figura 22 - Pesagem da densidade da mistura (Autora, 2022)



Figura 23 – Medição do pH do fluido estabilizante (Autora, 2022)

Durante a mobilização dos equipamentos e dos testes do polímero, são executadas as muretas-guia, as quais servem de guia para o *clamshell*, que é inserido na mureta-guia no início da execução, o que garante a locação da estaca e o prumo da máquina escavadora (Figura 24).



Figura 24 – Execução da Mureta-guia (Autora, 2022)

Após a realização dos ensaios e da mureta-guia, é iniciada a escavação da estaca barrete. Ela é feita com uso de guindaste de apoio para colocação da armação e para sustentação

do *clamshell* e de mangueiras que transportam o fluido estabilizante dos silos para o interior da estaca (Figura 25).



Figura 25 - Escavação de estaca barrete

Então, é feita a concretagem da estaca barrete, com uso de tubo tremonha, o qual é um tubo constituído por elementos emendados por rosca, com um funil na parte superior do tubo (Velloso e Lopes, 2010).



Figura 26 - Concretagem de estaca barrete (Autora, 2022)

Após a finalização da concretagem da estaca, devem ser monitorados os corpos de prova que foram moldados a cada caminhão betoneira utilizado na concretagem, a fim de garantir a integridade e usabilidade da estaca.

A previsão para a execução deste projeto contava com duas máquinas para escavação trabalhando simultaneamente, fato que não foi possível devido à problemas técnicos em um guindaste de apoio. A produtividade média das estacas barrete proposta em cronograma é de uma a cada dia, o que foi atendido mesmo com a utilização de uma máquina a menos. Isso se deve pelo fato de que a produtividade média foi superior à traçada, havendo dias em que foram concretadas duas estacas.

3.7.1 Resistência do concreto

As estacas barrete possuem alta capacidade de carga, o que necessita de resultados de resistência de rompimento de corpos de prova acima da resistência exigida em projeto. No caso desta obra, ocorreram casos de corpos de prova com resistência inferior a 30 MPa após 28 dias da concretagem, porém foram próximos à 30 MPa. Todos esses resultados foram enviados ao projetista e liberados, pois, a curva de resistência atinge 30 MPa após esta data.

Porém, uma estaca barrete dupla com geometria em planta de 100x250 cm apresentou um corpo de prova com resultado de apenas 15 MPa após 28 dias na estaca A, sendo o primeiro caminhão betoneira utilizado na estaca. Como este concreto com baixa resistência foi o que apresentou contato com a rocha, o projetista inutilizou ambas as estacas existentes, A e B. A sugestão para reforço foi de utilizar hélice contínua (Figura 27), uma vez que a máquina perfuratriz da estaca barrete já havia sido desmobilizada da obra e a perfuratriz de hélice contínua possuía disponibilidade.

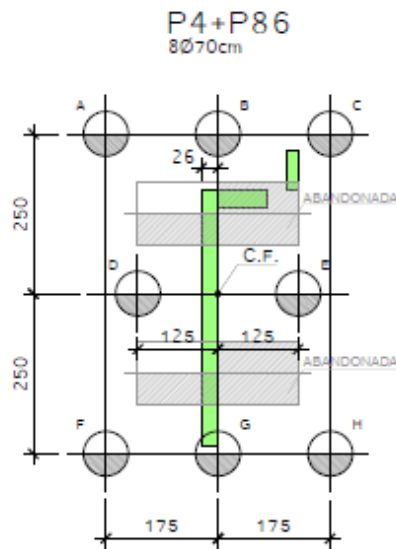


Figura 27 - Reforço na fundação (Autora, 2022)

4. Prova de Carga Dinâmica

De acordo com a norma ABNT NBR 6122:2019, é obrigatória a execução de provas de carga estática de desempenho, no decorrer do estaqueamento, em obras que possuam número de estacas maior ao valor especificado na coluna (B) da Tabela 6 da norma apresentada no Anexo B. A quantidade total de estacas inclui diferentes tipos, estacas da periferia e demais construções da obra, não consideradas apenas as estacas de muros de fechamento e estacas exclusivamente de contenções.

No caso desta obra, há a presença de 248 estacas hélice contínua na região de periferia, 74 estacas broca mecânica na região de quadra, churrasqueira e pergolados e 11 tubulões a céu aberto na região frontal da obra, local onde não é possível acessar com máquinas perfuratrizas devido à inclinação do terreno. O total de estacas nesta obra é de 397 unidades e, a partir de 75 estacas é obrigatória a execução de provas de carga, sendo a quantidade de ensaios igual a, no mínimo, 1% da quantidade total de estacas, com arredondamento sempre para cima. Ou seja, neste caso é necessária a execução de 4 testes de prova de carga.

A recomendação de projeto é que as provas de carga estáticas podem ser substituídas por ensaios dinâmicos na proporção de cinco ensaios dinâmicos para cada prova de carga estática (Figura 28).

NOTAS:

1. AS PROVAS DE CARGA ESTÁTICAS PODERÃO SER SUBSTITUÍDAS POR ENSAIOS DINÂMICOS NA PROPORÇÃO DE CINCO ENSAIOS DINÂMICOS PARA CADA PROVA DE CARGA ESTÁTICA.
2. A QUANTIDADE DE PROVAS DE CARGA, INDICADA NA TABELA, CORRESPONDE À QUANTIDADE TOTAL DE ESTACAS DESTE EMPREENDIMENTO. OS ENSAIOS DEVERÃO SER FEITOS, PREFERENCIALMENTE, NAS ESTACAS DAS TORRES.
3. EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE TOTAL DE ESTACAS, É OBRIGATÓRIA A EXECUÇÃO DE, PELO MENOS, 01 PROVA DE CARGA ESTÁTICA.

Figura 28 - Provas de carga exigidas em projeto (Autora, 2022)

Baseando-se nessas premissas e no fato de que o projetista exigiu que, pelo menos um ensaio fosse realizado nas estacas barrete, foram realizados cinco ensaios dinâmicos nas estacas barretes, localizadas nas regiões da torre e três ensaios estáticos nas estacas hélice contínua. Os ensaios dinâmicos foram realizados por causa da maior facilidade de utilização dos equipamentos devido a alta capacidade de carga das estacas, sendo necessário 20.000 kN para as estacas de 100x250 cm de dimensão, além de possuir menor custo e prazo executivo quando comparada a uma prova de carga estática, o que permite que sejam feitos ensaios em uma maior quantidade de estacas (Andraos, 2009)

De acordo com a norma ABNT NBR 13208:2009, o Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD), possui o objetivo de avaliar as cargas mobilizadas na interface solo-estaca, a eficiência do sistema de impacto e de tração ao longo da estaca, a integridade estrutural e as características dinâmicas do sistema solo-estaca. Ele é feito por meio da instalação de sensores no fuste da estaca, os quais enviam os dados por cabo até o equipamento que processa os sinais. Então, a estaca é golpeada pelo martelo com a carga exigida por projeto e os sinais são recebidos no equipamento, sendo possível medir o recalque (Figura 29).

As provas de carga foram executadas exclusivamente para a avaliação do desempenho da fundação profunda, sendo feitas em estacas do próprio empreendimento, as quais serão sustentação para os prédios. Desta forma, as estacas não puderam ser levadas a ruptura, sendo levadas até uma carga que, segundo a norma, deve atingir pelo menos duas vezes a carga admissível ou até que seja observado um deslocamento que se caracteriza ruptura (Tabela 5 e ANEXO C).



Figura 29 - Ensaio de carregamento dinâmico em estaca barrete (Autora, 2022)

Tabela 5 - Características das estacas ensaiadas em prova de carga dinâmica (Autora, 2022)

Estaca	Local	Dimensões (cm)	Carga Nominal (kN)	RMX CAPWAP (kN)	RMX CASE (kN)
P03	Torre B	100 x 250	10.000	20534	20535
P06	Torre A	70 x 250	7.000	14154	14454
P07	Torre A	100 x 250	10.000	18169	18169
P15	Torre A	70 x 250	7.000	15903	15903
P21	Torre B	100 x 250	10.000	20163	20163

Logo, a carga aplicada nas estacas P03, P21 e P07 foi de 20.000 kN e nas estacas P06 e P15 foi de 14.000 kN e os resultados apresentaram valores satisfatórios. O fator de segurança é obtido pela razão entre o RMX e a Carga Nominal (Tabela 6).

Tabela 6 - Fator de Segurança das Estacas Barrete

Estaca	Fator de Segurança (FS)
P03	2,053
P06	2,022
P07	1,817
P15	2,272
P21	2,016

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por soluções economicamente viáveis para a obra sem realizar estudos embasados nas técnicas adequadas para garantir que seja escolhida a melhor opção, pode gerar diversos transtornos em relação ao cronograma físico-financeiro da mesma.

Como apresentado neste trabalho, com análise nos âmbitos econômicos e executivos, realizar um projeto em radier estaqueado nesta obra seria uma solução com maiores custos e também maior prazo, além do que dificuldade em realizar qualquer interferência caso seja necessário realizar reforços na fundação devido à proximidade das estacas já existentes.

Com a alteração de projeto para estacas escavadas tipo estacão, haveria a diminuição de custos quando comparada à primeira solução de projeto, porém ainda elevados diante ao orçamento previsto para o empreendimento. Quanto ao prazo executivo, em relação ao radier estaqueado, esta solução apresenta menor prazo. Porém, as dimensões dos blocos de fundação são muito elevadas, com blocos de até 250 m³.

Diante disso, a solução final foi a de executar estacas barrete, a qual era tecnicamente adequada à obra e possuía custos e prazos inferiores às duas soluções apresentadas anteriormente. A disponibilidade de equipamentos também foi um fator decisivo para o início nos prazos estipulados. Como as questões financeiras e o prazo executivo foram atendidos, as fases de execução da obra em relação ao cronograma seguiram de acordo com o previsto.

Portanto, foi possível notar o quanto é relevante realizar estudos do solo presente no terreno em que será realizada a obra, visto que estas informações permitiram a apresentação de diferentes soluções para a fundação deste empreendimento, sendo possível escolher a mais viável economicamente e de menor prazo executivo.

Ademais, é importante ressaltar que a execução do controle tecnológico do concreto deve ser feita de acordo com as normativas, uma vez que a resistência do mesmo é fator principal para a capacidade de carga das estacas. Diante disso, a execução do teste de prova de carga também é indispensável, além de exigido por norma, para que seja atestada a capacidade de carga das estacas executadas. Ambos estes fatores são tão importantes quanto aos estudos prévios realizados para a elaboração do projeto e da escolha da solução mais viável para o empreendimento, visto que estes permitem validar os critérios técnicos previstos no projeto foram atendidos na prática, preservando a integridade física da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6122: 2019 Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6484:2020 Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8036:1983 Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ANDRAOS, N. C. **Ensaio De Carregamento Dinâmico Em Estacas Moldadas in Loco : Contribuições Para a Seleção Do Sistema De Impacto E Amortecimento a Partir De Retro-Análise Ensaio De Carregamento Dinâmico Em Estacas Moldadas in Loco : Contribuições Para a Seleção Do Sistema**. 2009.

BONEZI, C. **Estudo comparativo do impacto ambiental produzido pelo uso de lama bentonítica e de polímero em obra**. 2010.

GARCIA, J. R. **Estaqueados Executados Em Solo Da Região De Campinas / Sp**. 2015.

VELLOSO, D. DE A.; LOPES, F. DE R. **Fundações - Volume 2**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

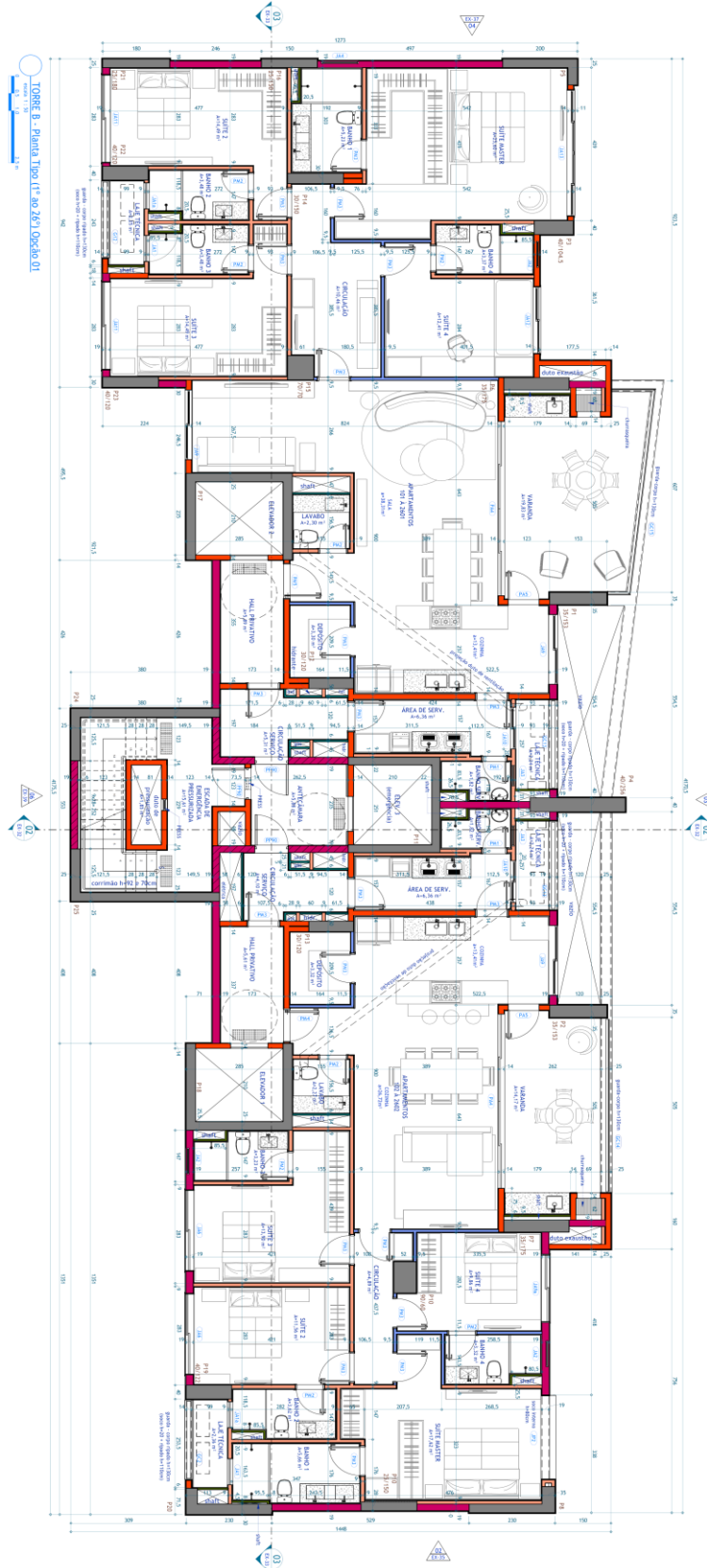
BRASFOND. **Estacas Barrete**. Disponível em: <
<http://www.brasfond.com.br/fundacoes/ebarrete.html>>.

TERA AMBIENTAL. **Construtoras devem realizar o tratamento de lama de perfuração das suas obras**. Disponível em: <
<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/construtoras-devem-realizar-o-tratamento-de-lama-de-perfuracao-das-suas-obras>>.

GEOFUND. **Parede Diafragma e Estacas Barrete**. Disponível em: <
<http://geofund.com.br/portfolio-item/parede-diafragma-e-estacas-barrete/>>.

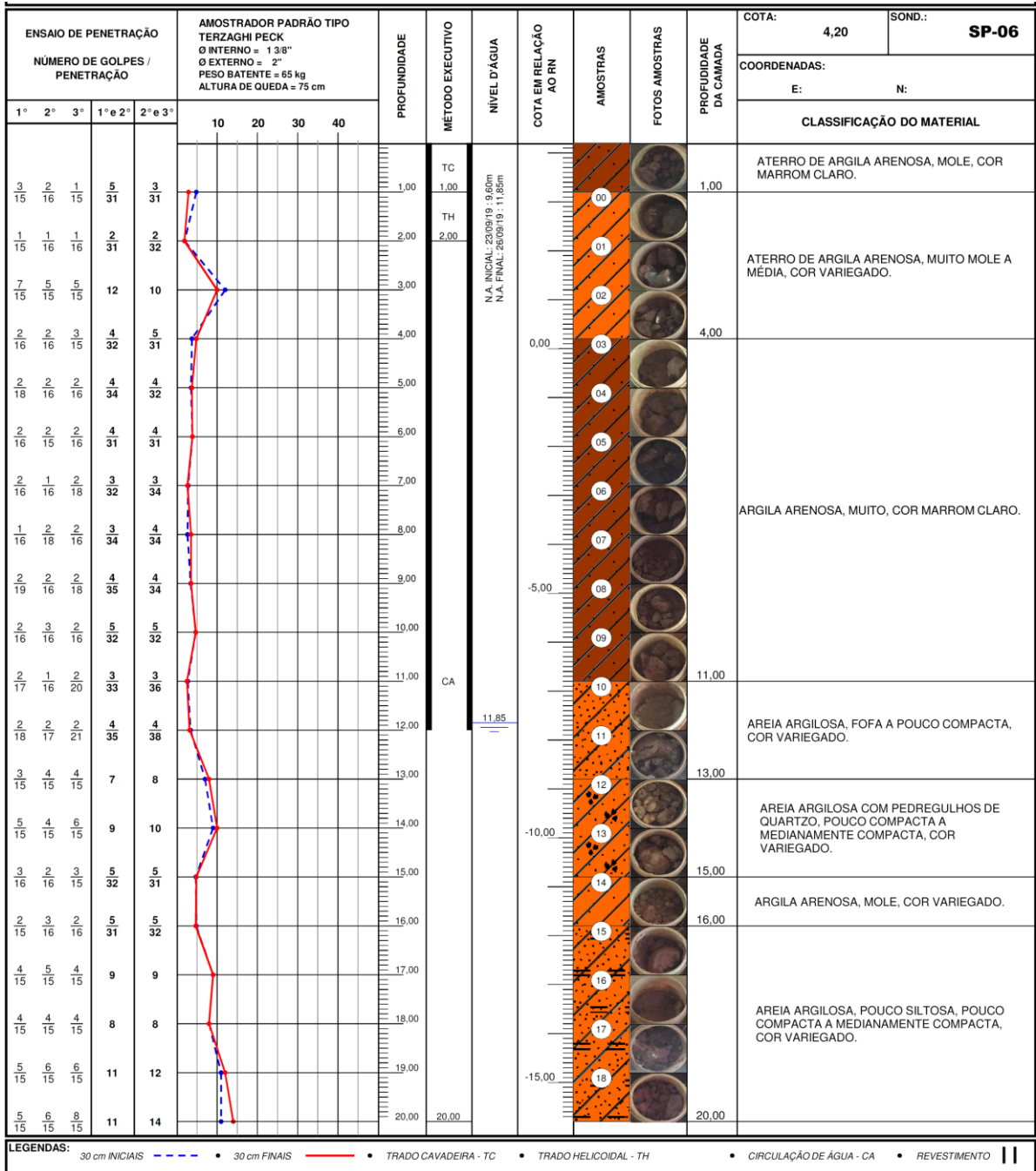
ANEXO A – PLANTA BAIXA DO EDIFÍCIO

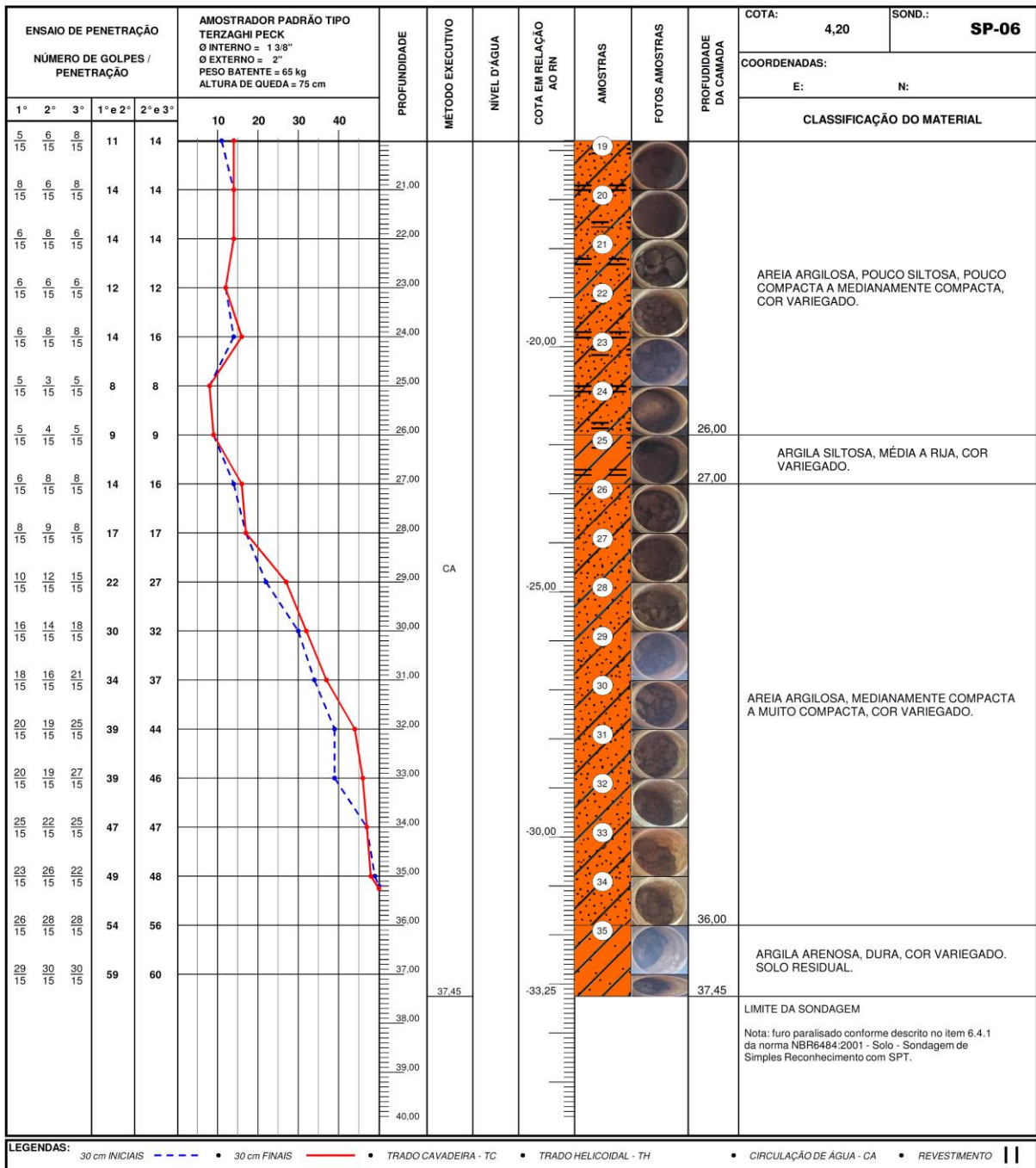
12,70 m



41,70 m

ANEXO B – Sondagem Ponto SP-06





LEGENDAS: 30 cm INICIAIS - - - • 30 cm FINAIS — • TRADO CAVADEIRA - TC • TRADO HELICOIDAL - TH • CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA • REVESTIMENTO | |

ANEXO C – Tabela 6 NBR ABNT 6122:2019

Tipo de estaca	A Tensão de trabalho abaixo da qual não serão obrigatórias provas de carga, desde que o número de estacas da obra seja inferior à coluna (B), em MPa ^{b c d}	B Número total de estacas da obra a partir do qual serão obrigatórias provas de carga ^{b c d}
Pré-moldada ^a	7,0	100
Madeira	-	100
Aço	0,5 f_{yk}	100
Hélice, hélice de deslocamento, hélice com trado segmentado (monitoradas)	5,0	100
Estacas escavadas com ou sem fluido $\varnothing \geq 70$ cm	5,0	75
Raiz ^e	$\leq \varnothing 310$ mm – 15,0	75
	$\geq \varnothing 400$ mm – 13,0	
Microestaca ^e	15,0	75
Trado vazado segmentado	5,0	50
Franki	7,0	100
Escavadas sem fluido $\varnothing < 70$ cm	4,0	100
Strauss	4,0	100
<p>^a Para o cálculo da tensão de trabalho consideram-se estacas vazadas como maciças, desde que a seção vazada não exceda 40 % da seção total.</p> <p>^b Os requisitos acima são válidos para as seguintes condições (não necessariamente simultâneas):</p> <ul style="list-style-type: none"> — áreas onde haja experiência prévia com o tipo de estaca empregado. — onde não houver particularidades geológico-geotécnicas. — quando não houver variação do processo executivo padrão. — quando não houver dúvida quanto ao desempenho das estacas. <p>^c Quando as condições desta Tabela não ocorrerem, devem ser feitas provas de carga em no mínimo 1 % das estacas, observando-se um mínimo de uma prova de carga (conforme ABNT NBR 12131), qualquer que seja o número de estacas.</p> <p>^d As provas de carga executadas exclusivamente para avaliação de desempenho devem ser levadas até que se atinja pelo menos duas vezes a carga admissível ou até que se observe um deslocamento que caracterize ruptura. Caso exista prova de carga prévia, as provas de carga de desempenho devem ser levadas até que se atinja pelo menos 1,6 vezes a carga admissível ou até que se observe um deslocamento que caracterize ruptura.</p> <p>^e Diâmetros de perfuração conforme Anexo K.</p>		

Fonte: ABNT NBR 6122:2019