

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DANIELA CAROLINA DA SILVA MORGANTI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
FUNDAÇÕES PROFUNDAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA E ESTACA
RAIZ – UM ESTUDO DE CASO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

DANIELA CAROLINA DA SILVA MORGANTI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
FUNDAÇÕES PROFUNDAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA E ESTACA
RAIZ – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira civil.

Orientador:
Profa. Márcia Maria Machado Steil, MSc

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Morganti, Daniela Carolina da Silva
Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de Fundações Profundas do Tipo Hélice Contínua e Estaca Raiz - Um Estudo de Caso / Daniela Carolina da Silva Morganti; orientação de Márcia Maria Machado Steil. - Florianópolis, SC, 2022.

107 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Fundações. 2. Estaca hélice contínua. 3. Estaca raiz. 4. Comparativo técnico e econômico. I. Machado Steil, Márcia Maria . II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de Fundações Profundas do Tipo Hélice Contínua e Estaca Raiz - Um Estudo de Caso.

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE FUNDAÇÕES
PROFUNDAS DO TIPO HÉLICE CONTÍNUA E ESTACA RAIZ – UM ESTUDO DE
CASO**

DANIELA CAROLINA DA SILVA MORGANTI

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de março, 2022.

Banca Examinadora:

Prof.^a Márcia Maria Machado Steil, Mestre em Engenharia Civil
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Prof.^a Fernanda Simoni Schuch, Doutora em Engenharia Civil
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Eng.^o Evandro Medeiros Braz
Calter do Brasil

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por toda educação, carinho, apoio e esforço para que eu me dedicasse exclusivamente à graduação.

Ao meu namorado, Júlio Pacheco, por todo apoio, incentivo, parceria e pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos da faculdade, principalmente à Mariana, Maria Eduarda e Amanda, que dividiram momentos bons e ruins comigo durante a vida acadêmica.

À professora Márcia que aceitou participar deste encerramento de ciclo da minha vida acadêmica, e sempre me orientou, apoiou e confiou em mim.

Aos membros da banca, professora Fernanda e engenheiro Evandro, que aceitaram compartilhar seus conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho.

“Cada adversidade, cada fracasso e
cada mágoa traz junto a semente de
um benefício equivalente ou maior.”
(Napoleon Hill)

RESUMO

As cargas provenientes da superestrutura são distribuídas ao solo através de fundações, portanto, é imprescindível considerar a interação solo/fundação para assegurar a estabilidade estrutural. Este elemento estrutural é dividido em dois grupos, as rasas e as profundas, na qual a primeira difunde as tensões para o solo através da base, já a segunda pelo atrito do fuste e/ou ponta. Como custo da fundação de uma edificação possui um grande impacto no orçamento final da obra, realizou-se um estudo de caso de um edifício multifamiliar localizado em Jurerê Internacional, Florianópolis/SC, a fim de fazer uma análise técnica e econômica de dois tipos de fundações profundas, a hélice contínua e a estaca raiz. Para realizar este trabalho precisou-se normatizar e referenciar bibliograficamente conceitos relacionados às fundações e foi necessário conhecer as cargas atuantes na construção, fazer um perfil geológico do terreno através do laudo de sondagem, dimensionar a capacidade de carga para a estaca por três métodos semi-empíricos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986), e fazer a orçamentação, para então conseguir atingir o intuito central deste trabalho.

Palavras-chave: Fundações. Estaca hélice contínua. Estaca raiz. Comparativo técnico e econômico.

ABSTRACT

The superstructure loads are transferred into the ground through its foundations, therefore it is essential to examine the interaction of the foundation with the ground to ensure structural integrity and stability. This structural element is divided into two groups: shallow foundations and deep foundations, in which the first group diffuses the load stresses into the ground directly through the base; the second group does so by the friction of the shaft and/or the pile. Understanding that the cost of a building's foundation amounts to a substantial portion of the total costs of a construction project, a case study was carried out of a multifamily building located in the neighborhood of Jurerê Internacional, Florianópolis, SC, in order to make a technical and economic analysis between two deep foundation types- the continuous flight auger pile (CFA) and the root pile. To carry out this case study, it was necessary to standardize and bibliographically reference concepts related to foundations, as well as understand the load-bearing requirements of the construction, create a geological profile of the terrain through the drilling reports, scale the load capacity for the pile by referencing three semi-empirical methods: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) and David Cabral (1986), and lastly, budgeting, in order to successfully achieve the principal objective of this project.

Keywords: Foundations. Continuous flight auger pile. Root pile. Technical and economic comparison.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Estrutura do trabalho..... | 20 |
| Figura 2 - Tabela K.1 – Diâmetros nominais e diâmetros dos revestimentos | 28 |
| Figura 3 - Foto área do terreno | 45 |
| Figura 4 – Fachada do edifício | 46 |
| Figura 5 - Fluxograma | 49 |
| Figura 6 – Perfil geotécnico do terreno | 51 |
| Figura 7 – Página inicial PLEO..... | 53 |
| Figura 8 – Orçamento no PLEO | 79 |
| Figura 9 – Criação de serviços..... | 80 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Orçamento para menor carga vertical aplicada | 83 |
| Gráfico 2 – Orçamento para maior carga vertical aplicada | 84 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Coeficiente K e razão de atrito α | 35 |
| Tabela 2 - Fatores de correção F_1 e F_2 atualizados | 36 |
| Tabela 3 - Coeficiente característico do solo C | 38 |
| Tabela 4 - Valores de α em função do tipo de estaca e do tipo de solo | 39 |
| Tabela 5 - Valores de β em função do tipo de estaca e do tipo de solo | 39 |
| Tabela 6 - Fator β_0 | 41 |
| Tabela 7 - Fatores β_1 e β_2 | 42 |
| Tabela 8 – Carga dos pilares | 47 |
| Tabela 9 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de menor carga | 57 |
| Tabela 10 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de maior carga | 59 |
| Tabela 11 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de menor carga | 63 |
| Tabela 12 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de maior carga | 65 |
| Tabela 13 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de menor carga | 69 |
| Tabela 14 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de menor carga | 73 |
| Tabela 15 – Capacidade de carga e carga admissível David Cabral para pilar de menor carga | 77 |
| Tabela 16 – Resultados | 78 |
| Tabela 17 – Resumo orçamento | 81 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| A_p | Área de ponta |
| B | Diâmetro da estaca |
| BDI | Benefícios e despesas indiretas |
| C | Coeficiente característico do solo em kPa |
| CPT | <i>Cone Penetration Test</i> |
| ELS | Estado Limite de Serviço |
| ELU | Estado Limite Último |
| f_{ck} | Resistência característica do concreto à compressão |
| f_s | Atrito lateral unitário na luva |
| F_s | Fator de segurança |
| F_1 | Coeficiente de correção das resistências de ponta |
| F_2 | Coeficientes de correção das resistências lateral |
| K | Coeficiente de conversão da resistência de ponta do cone para N_{SPT} |
| Kgf | Quilograma-força |
| Kg/m^3 | Quilograma por metro cúbico |
| L | Espessura da camada |
| M | Metro |
| m^2 | Metro quadrado |
| Mpa | Mega Pascal |
| n | Número de camadas |
| N | Resistência à penetração através do ensaio SPT |
| NBR | Norma Brasileira |
| N_b | N no nível da ponta |

| | |
|-----------|--|
| N_L | Índice de resistência à penetração média na camada de solo de espessura ΔL , obtido pela sondagem mais próxima |
| N_L | Resistência à penetração ao longo do fuste |
| N_p | Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca obtido pela sondagem mais próxima |
| N_{SPT} | Número de golpes do resultado do ensaio SPT |
| p | Pressão de injeção |
| P_a | Carga admissível |
| PLEO | Planilha Eletrônica de Orçamentos |
| q_c | Resistência de ponta do cone |
| R | Capacidade de carga |
| R_L | Resistência lateral |
| r_L | Tensão média de atrito lateral na camada de espessura ΔL |
| R_{med} | Capacidade de carga média das estacas |
| r_p | Capacidade de carga do solo na cota de apoio |
| R_p | Resistência de ponta |
| SC | Santa Catarina |
| SIENGE | <i>Software</i> da Softplan |
| SINAPI | Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil |
| SPT | <i>Standard Penetration Test</i> |
| TCC | Trabalho de Conclusão de Curso |
| TCPO | Tabela de Composição de Preços para Orçamentos |
| U | Perímetro da seção transversal |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------|---|
| ΔL | Espessura da camada |
| α | Fator de correção da resistência lateral e ponta do cone no ensaio CPT |
| β_0 | Fator que depende do diâmetro da estaca B (em cm) e da pressão de injeção p (em kgf/cm ²) |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | Justificativa | 18 |
| 1.2 | Definição do Problema | 18 |
| 1.3 | Objetivo Geral | 19 |
| 1.4 | Objetivos Específicos | 19 |
| 1.5 | Estrutura do Trabalho | 19 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 21 |
| 2.1 | Investigação Geotécnica | 21 |
| 2.1.1 | Ensaio de Sondagem de Simples Reconhecimento a Percussão – SPT... | 22 |
| 2.2 | Fundações | 24 |
| 2.2.1 | Fundações Superficiais..... | 25 |
| 2.2.2 | Fundações Profundas | 25 |
| 2.2.2.1 | <i>Hélice Contínua</i> | 26 |
| 2.2.2.2 | <i>Estaca Raiz</i> | 28 |
| 2.3 | Previsão de Capacidade de Carga | 30 |
| 2.3.1 | Método Aoki-Velloso (1975)..... | 30 |
| 2.3.2 | Método Décourt-Quaresma (1978) | 36 |
| 2.3.3 | Método David Cabral (1986) | 39 |
| 2.4 | Carga Admissível | 42 |
| 2.5 | Orçamento e Composição de Custo | 43 |
| 3 | ESTUDO DE CASO | 44 |
| 4 | MÉTODO DE PESQUISA | 48 |
| 4.1 | Revisão de Literatura | 50 |
| 4.2 | Dados da Obra | 50 |
| 4.3 | Capacidade de Carga | 50 |
| 4.4 | Quantificação e Orçamentação | 52 |
| 4.5 | Análise dos Dados Obtidos | 53 |
| 5 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS | 53 |
| 5.1 | Hélice Contínua | 54 |
| 5.1.1 | Capacidade de Carga e Carga Admissível | 54 |
| 5.1.1.1 | <i>Aoki-Velloso (1975)</i> | 54 |
| 5.1.1.2 | <i>Décourt-Quaresma (1978)</i> | 60 |
| 5.2 | Estaca Raiz | 66 |
| 5.2.1 | Capacidade de Carga e Carga Admissível | 66 |
| 5.2.1.1 | <i>Aoki-Velloso (1975)</i> | 66 |
| 5.2.1.2 | <i>Décourt-Quaresma (1978)</i> | 70 |
| 5.2.1.3 | <i>David Cabral (1986)</i> | 74 |
| 5.3 | Orçamentação | 78 |
| 5.4 | Análise e Discussão dos Resultados | 81 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 85 |
| 6.1 | Sugestões para trabalhos futuros | 86 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |
| | ANEXOS | 90 |

| | |
|---|-----|
| ANEXO A – Planta de locação dos furos | 91 |
| ANEXO B – SP - 001 | 92 |
| ANEXO C – SP - 002 | 94 |
| ANEXO D – SP - 003 | 98 |
| ANEXO E – SP - 004 | 102 |
| ANEXO F – SP - 005 | 104 |
| ANEXO G – Planta de locação dos pilares | 106 |

1 INTRODUÇÃO

Um anseio comum de toda a sociedade é a necessidade de modificar o ambiente em sua volta, sempre buscando atingir seus próprios objetivos e desejos. Com o constante crescimento da globalização, viu-se a intenção de facilitar e intensificar as possibilidades de conexões. Desta situação, segundo Albuquerque e Garcia (2020), há muitos séculos surgiu a Engenharia Civil, com o intuito de solucionar problemas com base em teorias pré-estabelecidas, pesquisas e experiências, contribuindo, por exemplo, com a expansão de fronteiras e intercâmbios comerciais por meio da criação de estradas que possibilitassem a passagem por rios e terrenos problemáticos.

Um dos graves problemas na Engenharia Civil é a grande incerteza que existe quando é necessário solucionar situações abaixo da superfície de um terreno, visto que as experiências acumuladas neste tipo de cenário são extremamente duvidosas ao serem replicadas na Engenharia de Fundações. (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020)

Fundações são elementos por meio dos quais as cargas da superestrutura são transferidas ao solo. Desta forma, todo projeto de fundação consiste em obter valores de carga resultantes da obra e as possíveis respostas do solo a estas solicitações. (CARBONI, 2021, p. 15).

Até o século XIX, no Brasil, a fundação profunda utilizada era a estaca de madeira, a qual está sujeita ao apodrecimento, devido à variação do lençol freático. Com a intenção de evoluir tecnologicamente, no século XX métodos mais eficazes foram aplicados no país. Em 1930 chegou a estaca Franki, sendo a sua grande desvantagem a vibração causada no solo durante o processo de cravação. Em 1970, as estacas raiz começaram a ser utilizadas como reforço, e em 1980, apareceu a hélice contínua, que rapidamente ganhou espaço devido à sua velocidade de execução. (DANZIGER, 2021)

Um bom projeto de fundações atende as condições de segurança, funcionalidade, durabilidade e a inter-relação custo/benefício da solução escolhida. Como existem vários tipos de fundações profundas, busca-se sempre aquela que atende melhor às características da obra e ao custo.

Com este trabalho buscou-se colocar em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de graduação de engenharia civil, onde, através de um estudo de caso, fez-se a análise e avaliação da melhor fundação para a execução da edificação estudada, através de dados da obra, aplicação de métodos de cálculo e de orçamentação.

1.1 Justificativa

Na engenharia de fundações é comum lidar com um material natural no qual pouco pode-se alterar, ou seja, é necessário aceitar suas características conforme são. Sendo assim, é imprescindível levar em conta as condições do solo do local desde o início da concepção e do projeto de um empreendimento, assegurando uma maior economia (VELLOSO; LOPES, 2010).

Levando isto em consideração e a pretensão de executar um empreendimento residencial, é necessário realizar um estudo aprofundado sobre o tipo de solo do terreno, das cargas atuantes que este receberá e uma comparação financeira para viabilizar o método construtivo com melhores características técnicas e econômicas.

1.2 Definição do Problema

Apesar de a engenharia civil estar em constante evolução, os métodos científicos ainda não são capazes de sanar todos os problemas propostos, pois o controle das operações e experimentos de campo tornam-se árduos devido à grande quantidade de variáveis envolvidas. (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020)

Através do laudo de sondagem e da planta de carga da edificação, serão dimensionadas estacas profundas do tipo hélice contínua e estaca raiz através dos métodos: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986), a fim de analisar qual estaca e método é mais viável técnica e economicamente.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica de fundações profundas do tipo estaca hélice contínua e raiz de um edifício multifamiliar localizado em Jurerê Internacional, Florianópolis/SC.

1.4 Objetivos Específicos

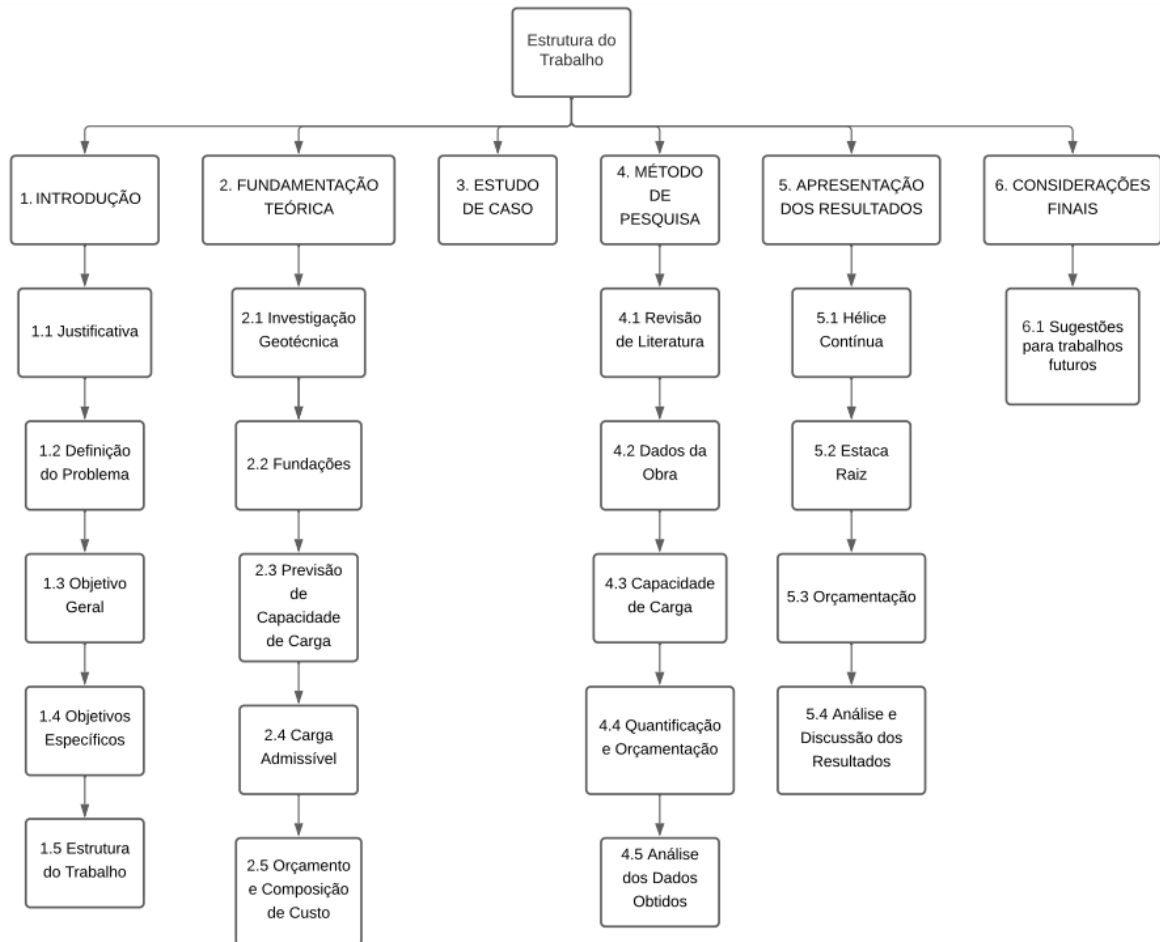
Para alcançar o objetivo geral, serão necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Com base na sondagem SPT, elaborar o perfil estratigráfico do terreno;
- b) Efetuar a previsão da capacidade de carga para duas estacas por três métodos de cálculo: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986);
- c) Elaborar um comparativo financeiro entre as estacas do tipo hélice contínua e raiz;
- d) Verificar a viabilidade das estacas hélice contínua e raiz e propor a melhor situação.

1.5 Estrutura do Trabalho

A Figura 1 apresenta como o trabalho foi estruturado e desenvolvido.

Figura 1 – Estrutura do trabalho



Fonte: Autora (2022).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Serão apresentadas bases teóricas importantes para o entendimento do presente trabalho, sendo elas: investigação geotécnica, fundações, capacidade de carga, carga admissível, orçamento e composição de custos.

2.1 Investigação Geotécnica

A investigação e estudo do solo é a etapa inicial do projeto de fundações. Procura-se nesta etapa obter as informações geotécnicas do terreno para então definir as fundações mais adequadas, sejam elas fundações superficiais ou profundas.

Segundo Pereira (2018), para o projeto de fundação de uma obra ser elaborado de maneira correta, é necessário que haja um procedimento de sondagem, definindo, portanto, as propriedades físicas do solo. No entanto, é comum este estudo não ser feito em obras de pequeno porte, sendo esta uma prática errônea, pois a sondagem ajuda a garantir a segurança e economia de materiais, evitando retrabalhos e gastos no futuro.

Para a ABNT NBR 6122/2019 deve ser feita investigação geotécnica preliminar para qualquer tipo de edificação, elaborada, no mínimo, por sondagens a percussão, pois a partir disto é possível determinar a estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração N_{SPT} .

Diversos ensaios geotécnicos podem ser realizados para o estudo do solo; dentre eles pode-se citar:

- Ensaio de sondagem a percussão (SPT);
- Ensaio de penetração de cone (CPT);
- Sondagem rotativa.

2.1.1 Ensaio de Sondagem de Simples Reconhecimento a Percussão – SPT

O ensaio de sondagem a percussão tem como nome original “Standard Penetration Test” e também é conhecido como sondagem SPT e sondagem de simples reconhecimento. Com este ensaio é possível identificar e classificar as camadas de solo, encontrar o nível do lençol freático e a capacidade de carga do solo em várias profundidades. O ensaio é normatizado pela ABNT NBR 6484/2020.

De acordo com Albuquerque e Garcia (2020), durante a execução da sondagem de simples reconhecimento, realiza-se o ensaio SPT que permite a determinação da resistência mecânica do solo, por meio do número de golpes necessários à cravação de um amostrador padrão. Ainda segundo os autores, a execução das sondagens à percussão representa a condição mínima aceitável como investigação geotécnica para subsidiar a elaboração de um projeto para qualquer obra de engenharia.

Os equipamentos necessários para realização deste ensaio, segundo a NBR 6484/2020 são:

- a) torre com roldana, moitão e corda;
- b) tubos de revestimento;
- c) hastes de perfuração/cravação;
- d) trado-concha ou cavadeira manual;
- e) trado helicoidal;
- f) trépano/peça de lavagem;
- g) amostrador-padrão;
- h) cabeça de bater;
- i) martelo padronizado;
- j) baldinho para esgotar o furo;
- k) medidor de nível de água;
- l) metro de balcão ou trena;
- m) recipientes para amostras;
- n) bomba d'água centrífuga motorizada;
- o) caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação;
- p) ferramentas gerais necessárias para a operação.

O procedimento do ensaio começa com a limpeza do terreno e locação dos furos de sondagem. A ABNT NBR 8036/1983 estabelece, no mínimo, duas sondagens para edifícios com área de projeção de até 200 m² e três furos para área de projeção entre 200 e 400 m². A norma traz ainda:

- Área construída de 200 a 1200 m²: 1 sondagem para cada 200 m²;
- Área construída de 1200 a 2400 m²: 1 sondagem para cada 400 m² que exceder a 1200 m²;
- Área construída acima de 2400 m²: será fixada a critério, dependendo do plano de construção.

A sondagem é iniciada com o posicionamento do tripé e montagem de um conjunto de roldana e corda, que irá auxiliar no manuseio da composição de hastes e levantamento do martelo de 65 kgf. O furo é iniciado desde o ponto de instalação do equipamento, com o auxílio de um trado cavadeira perfura-se e recolhe-se o solo até um metro de profundidade, esta amostra é nomeada como “amostra zero”. No fundo do furo aberto é apoiado um amostrador padrão acoplado na extremidade da haste. Ergue-se o martelo a 75 cm acima do topo das hastes e deixa-se ele cair em queda livre. O procedimento é feito até penetrar 45 cm, no qual conta-se o número necessário de quedas para cravação de cada segmento de 15 cm do total de 45 cm. A soma do número de golpes necessários para penetração dos últimos 30 cm é chamado de N_{SPT} (FALCONI *et al*, 1998).

“O critério de paralisação das sondagens é de responsabilidade técnica da contratante ou preposto, e deve ser definido de acordo com as necessidades específicas do projeto.” ABNT NBR 6484/2020 (p. 17). Caso não tenha um critério de paralisação, a NBR 6484/2020 diz que a sondagem deve seguir até que ocorra algum destes itens:

- a) Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 25 golpes;
- b) Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 30 golpes;

- c) Avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 35 golpes. (ABNT NBR 6484, 2020, p. 17).

2.2 Fundações

Botelho (2015) diz que as fundações são estruturas que recebem as cargas da superestrutura e distribuem no solo de maneira que os riscos de recalque sejam pequenos, que não estejam sujeitas a possíveis rompimentos de solo, que não tragam riscos aos trabalhadores durante a sua execução e que sejam econômicas.

As fundações são divididas em dois grandes grupos, as superficiais e as profundas. De acordo com a ABNT NBR 6122/2019 fundação superficial é um elemento da qual a base está assentada a uma profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação e transmite as tensões pela base. A norma ainda traz como definição de fundação profunda:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões. (ABNT NBR 6122, 2019, p. 5).

Algumas normas que regulam o estudo das fundações são:

- NBR 6122:2019 – Projeto e execução de fundações;
- NBR 6489:2019 – Solo – Prova de carga estática em fundação direta;
- NBR 16903:2020 – Solo – Prova de carga estática em fundação profunda;
- NBR 13208:2007 – Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico;
- NBR 6484:2020 – Solo – Sondagem de simples reconhecimento – Método de ensaio.

Um ponto importante de se analisar é o ensaio de integridade de estacas, conhecido como PIT; no Brasil não existe uma norma que regularize este ensaio, porém existem normas a nível internacional, como, por exemplo, a americana ASTM D-5882-96.

2.2.1 Fundações Superficiais

Conhecida também como fundações rasas ou diretas, elas apresentam maior viabilidade econômica, pois são de fácil execução e não demandam uso de equipamentos sofisticados (MELO, 2018). Alguns exemplos são blocos, sapatas, viga de fundação e radier, os quais serão apresentados brevemente a seguir.

a) Bloco

Para a ABNT NBR 6122/2019 este é um elemento sem armadura que deve ser dimensionado de modo que as tensões de tração sejam resistidas pelo material. Ele pode ser constituído por concreto, alvenaria ou pedras.

b) Sapatas

A ABNT NBR 6122/2019 diz que este é um elemento de concreto armado. Sua armadura deve ser dimensionada de modo que as tensões de tração sejam resistidas.

c) Viga de fundação

“Elemento de fundação que recebe pilares alinhados, geralmente de concreto armado; pode ter seção transversal tipo bloco (sem armadura transversal), quando são frequentemente chamados de *baldrames*, ou tipo sapata, armadas;” (FALCONI *et al*, 1998, p. 212).

d) Radier

“Elemento de fundação superficial que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.” (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 12).

2.2.2 Fundações Profundas

Velloso e Lopes (2010) separam as fundações profundas em três grupos:

- Estaca: não existe trabalho manual em profundidade e é executada por ferramentas ou equipamentos. Ela pode ser realizada por cravação e/ou escavação;
- Tubulão: difere da estaca porque durante a execução ocorre trabalho manual em profundidade;
- Caixão: possui forma prismática, tendo sua superfície concretada. Ele é instalado por escavação interna.

O grupo mais comum é o das estacas e, segundo Falconi *et al.* (1998), constantemente é introduzido um tipo novo de estaca no mercado e a sua técnica de execução está sempre em evolução. Alguns exemplos de estacas são estacas de madeira, metálicas, pré-moldadas, escavadas, estaca raiz e hélice contínua. Dado que as estacas tipo hélice contínua e raiz são executadas através de escavação, de modo que não gera vibrações no solo, e como existem construções ao redor da obra estudo de caso, optou-se por estudar estes dois tipos de fundações profundas, como já mencionado nos objetivos.

2.2.2.1 Hélice Contínua

A hélice contínua foi empregada no Brasil na década de 80, no entanto, já era utilizada nos Estados Unidos e na Europa desde a década anterior. Este método tem grande aceitação por produzir baixo nível de vibrações e ter alta produtividade (VELLOSO; LOPES, 2010).

A ABNT NBR 6122/2019 descreve a estaca hélice contínua monitorada como sendo uma estaca moldada *in loco* de concreto. Ela é realizada com a introdução de um trado helicoidal contínuo no solo, e, durante a sua remoção, é introduzido concreto pela haste central do trado. A armadura é inserida após a concretagem.

A execução é dividida em três fases: perfuração, concretagem e inserção da armadura. “A perfuração consiste em cravar a hélice no terreno, até a profundidade determinada em projeto, por meio de uma mesa rotativa colocada no

seu topo, que aplica um torque apropriado para vencer a resistência do terreno.” (FALCONI *et al*, 1998, p. 345). Ainda segundo Falconi *et al*. (1998) não ocorre a retirada da hélice durante esta etapa pois a principal característica desta estaca é não permitir alívio significativo do terreno, possibilitando a execução tanto em solos coesivos quanto em solos arenosos, com ou sem presença de lençol freático.

Após a perfuração, enquanto ocorre a retirada da hélice, o concreto é continuamente bombeado através do tubo central. A concretagem é encerrada um pouco acima da cota de arrasamento da estaca (VELLOSO; LOPES, 2010). Falconi *et al*. (1998) destaca que para não haver vazios entre a extração da hélice e a concretagem, o qual pode ocasionar estrangulamento ou seccionamento do fuste da estaca, é necessário que a velocidade de remoção da hélice seja diretamente relacionada com a pressão e sobreconsumo de concreto.

A colocação da armadura é realizada após a concretagem. “A armação, em forma de gaiola, é introduzida na estaca por gravidade ou com auxílio de um pilão de pequena carga ou vibrador.” (FALCONI *et al*, 1998, p. 346). Nas estacas submetidas apenas ao esforço de compressão, a inserção da armadura ocorre no topo, geralmente com 4 m de comprimento. Já as estacas submetidas a esforços transversais ou de tração recebem armaduras maiores, normalmente abrangendo todo o trecho do fuste onde tem diagrama de momento (VELLOSO; LOPES, 2010).

Algumas vantagens desta estaca são: ausência de vibrações e ruídos, elevada produtividade de execução, adaptável em diversos tipos de terrenos, com exceção de quando há presença de matacões e rochas. Já algumas desvantagens são: as áreas de trabalho devem ser planas e de fácil movimentação devido ao tamanho dos equipamentos, o comprimento da estaca e da armação são limitados, a central de concreto deve ser próxima ao local de trabalho por causa da alta produtividade e precisa ter um número mínimo de estacas para tornar o custo de mobilização dos equipamentos viável.

2.2.2.2 Estaca Raiz

A estaca raiz é definida pela ABNT NBR 6122 como “estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, moldada *in loco* executada por perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente, no trecho em solo, por conjunto de tubos metálicos recuperáveis.” (ABNT NBR 6122, 2019, p. 5).

Algumas características da estaca raiz são: pequeno diâmetro, não possui base alargada, permite trabalho em locais de difícil acesso por conta dos pequenos equipamentos necessários para execução, processo de perfuração que evita vibrações, permite a execução de estacas inclinadas. Algumas aplicações da estaca são: contenção de taludes, fundação de pontes e fundações que a execução pelos métodos tradicionais é dificultosa, quer seja pela ocorrência de matacões ou pela escassez de espaço em superfície ou pé direito. (STEIL, 2004)

A execução é dividida em cinco etapas, as quais são: perfuração, colocação da armadura, injeção de argamassa, retirada do revestimento e preparo da cabeça da estaca. A perfuração é efetuada por uma perfuratriz rotativa (trecho em solo) ou rotopercussiva (trecho em rocha), no qual desce com o auxílio de circulação de água injetada com pressão pelo seu interior. Um revestimento metálico é inserido nos trechos em solo (ABNT NBR 6122, 2019). A água usada nesta etapa pode ser de reuso e até mesmo água reciclada da perfuração, desde que obedeça aos requisitos descritos no item K.3.1 do anexo K desta norma. Como o diâmetro nominal é superior ao diâmetro externo de revestimento, a norma traz uma tabela com a relação dos dois diâmetros, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Tabela K.1 – Diâmetros nominais e diâmetros dos revestimentos

| | | | | | | | | |
|--|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Diâmetro nominal da estaca | mm | 150 | 160 | 200 | 250 | 310 | 400 | 450 |
| Diâmetro mínimo externo do tubo de revestimento | mm | 127 | 141 | 168 | 220 | 273 | 355 | 406 |

Fonte: ABNT NBR 6122 (2019).

Antes da colocação da armadura é feita a limpeza da parte interna do furo por meio de composição de lavagem, realizando, após isto, a descida da armadura até o fundo do furo. A armadura pode ser montada em feixe ou em gaiola. (ABNT NBR 6122, 2019)

A injeção de argamassa é realizada através de uma bomba de injeção, por meio de um tubo posicionado na ponta da estaca, desde o fundo do furo até a expulsão completa da água de circulação presente no tubo de revestimento. A injeção é finalizada quando a argamassa proveniente do furo não apresentar sinais de contaminação de lama ou detritos (ABNT NBR 6122, 2019). A argamassa empregada nesta operação deve ter um f_{ck} igual ou superior a 20 MPa, com agregado sendo areia, relação água/cimento entre 0,5 e 0,6 e consumo de cimento igual ou maior que 600 kg/m³.

Durante a extração do revestimento, se for previsto em projeto, é aplicado ar comprimido sob pressão moderada. A NBR 6122/2019 ainda destaca que a cada, no máximo, 1,5 m deve ser verificado e completado o nível de argamassa.

Para o preparo da cabeça da estaca, Jesus (2017) menciona que a argamassa deve ser preenchida até o topo do terreno, independente da cota de arrasamento. A demolição da argamassa em excesso deve ocorrer, no mínimo, 24 horas após a injeção. O topo da estaca deve estar, no mínimo, 5 cm dentro do bloco, acima do lastro de concreto.

Segundo Avila (2020) algumas vantagens da estaca raiz são:

- Utilização em obras com pouco espaço;
- Aplicação em terrenos com presença de matacões e rochas;
- Pode ser executada com maiores inclinações;
- Não produz vibrações;
- Aplicação para reforço de fundação.

Já as desvantagens para Avila (2020) são:

- Alto custo;
- Elevado consumo de água, cimento e ferragens;
- Não é indicada quando existem esforços horizontais elevados.

2.3 Previsão de Capacidade de Carga

A fundação deve atender, simultaneamente, aos estados de limite último (ELU) e estados de limite de serviço (ELS). O estado de limite último diz respeito aos mecanismos que podem levar a estrutura ao colapso, já o ELS está relacionado aos recalques, levantamentos excessivos e vibrações.

A capacidade de carga é o maior valor de resistência que o conjunto solo estaca pode oferecer, sendo este o menor valor entre a carga estrutural admissível e resistência do solo. O primeiro fator é a resistência do material constituinte da estaca que é alcançada de maneira análoga a de um pilar. Já o segundo depende do tipo de solo, granulometria, atrito mineral-mineral, da coesão e do entrosamento entre as partículas (MELO, 2018). A previsão de capacidade de carga de fundações profundas pode ser feita através dos métodos teórico, empírico e semi-empírico, além da execução de provas de carga.

Como as fórmulas teóricas não são tão confiáveis na previsão de carga de estacas, é mais usual utilizar métodos fundamentados em correlações empíricas com resultados de ensaios *in situ* e ajustados com provas de carga (CINTRA; AOKI, 2010). Cintra e Aoki (2010) ainda citam os métodos Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) como sendo o mais aplicados no Brasil. Monteiro, Araújo e Aguiar (2017) e Moura, Júnior e Aguiar (2011) realizaram estudo para descobrir qual método semi-empírico melhor se enquadra para estaca raiz, tendo como resultado o Cabral (1986). A seguir serão apresentados os três métodos citados.

2.3.1 Método Aoki-Velloso (1975)

Este método “apresenta soluções para se obter os valores para atrito lateral e resistência de ponta baseado no ensaio de penetração estática CPT, por meio dos valores de resistência de ponta do cone (q_c) e do atrito lateral unitário na luva (f_s).” (OLIVEIRA, 2017, p. 22). A equação 1 apresenta a capacidade de carga na ruptura, que é composta pela resistência de ponta e lateral.

$$R = R_p + R_L \quad (1)$$

Onde:

R = Capacidade de carga

R_p = Resistência de ponta

R_L = Resistência lateral

As equações 2 e 3 apresentam as resistências de ponta e lateral, respectivamente.

$$R_p = r_p \times A_p \quad (2)$$

Onde:

R_p = Resistência de ponta

r_p = Capacidade de carga do solo na cota de apoio

A_p = Área de ponta

$$R_L = U \times \sum_1^n (r_L \times \Delta l) \quad (3)$$

Onde:

R_L = Resistência lateral

U = Perímetro da seção transversal

n = Número de camadas

r_L = Tensão média de atrito lateral na camada de espessura ΔL

ΔL = Espessura da camada

Ou seja, a capacidade de carga (R) fica igual à equação 4.

$$R = U \times \sum_1^n (r_L \times \Delta L) + r_p \times A_p \quad (4)$$

Sendo r_L e r_p incógnitas geotécnicas. Pelo método Aoki-Velloso essas incógnitas são correlacionadas com o ensaio CPT, através dos valores da resistência de ponta e do atrito lateral unitário na luva (CINTRA; AOKI, 2010). As equações 5 e 6 apresentam, respectivamente, a resistência de ponta e lateral.

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (5)$$

Onde:

r_p = Capacidade de carga do solo na cota de apoio

q_c = Resistência de ponta do cone

F_1 = Coeficiente de correção das resistências de ponta, conforme Tabela 2

e

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (6)$$

Onde:

r_L = Tensão média de atrito lateral na camada de espessura ΔL

f_s = Atrito lateral unitário na luva

F_2 = Coeficientes de correção das resistências lateral, conforme Tabela 2

“ F_1 e F_2 são fatores de correção que levam em conta o efeito escala, ou seja, a diferença de comportamento entre estaca (protótipo) e o cone do CPT

(modelo), e também a influência do método executivo de cada tipo de estaca.” (CINTRA; AOKI, 2010, p. 23). Como no Brasil o ensaio SPT é mais empregado do que o CPT, existe uma correlação com o índice de resistência à penetração (N_{SPT}) (CINTRA; AOKI, 2010), como mostra a equação 7.

$$q_c = K \times N_{SPT} \quad (7)$$

Onde:

q_c = Resistência de ponta do cone

K = Coeficiente de conversão da resistência de ponta do cone para N_{SPT} , de acordo com a Tabela 1

N_{SPT} = Índice de resistência à penetração obtido nos ensaios SPT.

“Essa substituição possibilita exprimir também o atrito lateral em função de N_{SPT} , com a utilização da razão de atrito” (CINTRA; AOKI, 2010, p. 24), conforme equações 8 e 9.

$$\alpha = \frac{f_s}{q_c} \quad (8)$$

Logo,

$$f_s = \alpha \times q_c = \alpha \times K \times N_{SPT} \quad (9)$$

Onde:

f_s = Atrito lateral unitário na luva

q_c = Resistência de ponta do cone

α = Fator de correção da resistência lateral e ponta do cone no ensaio CPT, conforme Tabela 1

K = Coeficiente de conversão da resistência de ponta do cone para N_{SPT}

N_{SPT} = Índice de resistência à penetração obtido nos ensaios SPT.

Pode-se reescrever as expressões de r_p e r_L como mostra as equações 10 e 11.

$$r_p = \frac{K \times N_p}{F_1} \quad (10)$$

Onde:

N_p = Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca obtido pela sondagem mais próxima

e

$$r_L = \frac{\alpha \times K \times N_L}{F_2} \quad (11)$$

Onde:

N_L = Índice de resistência à penetração média na camada de solo de espessura ΔL , obtido pela sondagem mais próxima

A capacidade de carga de um elemento isolado pode ser obtida conforme a equação 12.

$$R = \frac{K \times N_p}{F_1} \times A_p + \frac{U}{F_2} \times \sum_1^n (\alpha \times K \times N_L \times \Delta L) \quad (12)$$

Os valores de K e α são dados na Tabela 1 e os fatores de correção F_1 e F_2 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Coeficiente K e razão de atrito α

| Solo | K (Mpa) | α (%) |
|----------------------|---------|--------------|
| Areia | 1,00 | 1,4 |
| Areia siltosa | 0,80 | 2,0 |
| Areia siltoargilosa | 0,70 | 2,4 |
| Areia argilosa | 0,60 | 3,0 |
| Areia argilossiltosa | 0,50 | 2,8 |
| Silte | 0,40 | 3,0 |
| Silte arenoso | 0,55 | 2,2 |
| Silte arenoargiloso | 0,45 | 2,8 |
| Silte argiloso | 0,23 | 3,4 |
| Silte argiloarenoso | 0,25 | 3,0 |
| Argila | 0,20 | 6,0 |
| Argila arenosa | 0,35 | 2,4 |
| Argila arenossiltosa | 0,30 | 2,8 |
| Argila siltosa | 0,22 | 4,0 |
| Argila siltoarenosa | 0,33 | 3,0 |

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 2 - Fatores de correção F_1 e F_2 atualizados

| Tipo de estaca | F_1 | F_2 |
|-------------------------------|------------|---------|
| Franki | 2,50 | $2 F_1$ |
| Metálica | 1,75 | $2 F_1$ |
| Pré-moldada | $1+D/0,80$ | $2 F_1$ |
| Escavada | 3,0 | $2 F_1$ |
| Raiz, Hélice contínua e Ômega | 2,0 | $2 F_1$ |

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.3.2 Método Décourt-Quaresma (1978)

O método de Décourt-Quaresma é baseado nos valores N do ensaio SPT. Este método foi desenvolvido, em 1978, inicialmente para estacas de deslocamento e depois foi adequado para as demais estacas. (FALCONI *et al*, 1998)

As parcelas de resistência (R_L e R_p) da capacidade de carga (R) da estaca são dadas pelas equações 13 e 14.

$$R_L = r_L \times U \times L \quad (13)$$

$$R_p = r_p \times A_p \quad (14)$$

Onde:

R_L = Resistência lateral

U = Perímetro da seção transversal

r_L = Tensão média de atrito lateral na camada de espessura L

L = Espessura da camada

R_p = Resistência de ponta

r_p = Capacidade de carga do solo na cota de apoio

A_p = Área de ponta

O valor da tensão de atrito lateral é estimado a partir do valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do seu fuste (N_L). Para estacas de deslocamento e escavadas com fluido estabilizante o limite de N_L é estendido de 15 para 50. Já para estacas Strauss e tubulões a céu aberto, o limite de N_L é mantido em 15 (CINTRA; AOKI, 2010). A representação da tensão de atrito lateral é dada pela equação 15.

$$r_L = 10 \times \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad (15)$$

Onde:

r_L = Tensão média de atrito lateral na camada de espessura L , em kPa

N_L = Resistência à penetração ao longo do fuste

A equação 16 estima a capacidade de carga junto à ponta da estaca.

$$r_p = C \times N_p \quad (16)$$

Onde:

r_p = Capacidade de carga do solo na cota de apoio

N_p = Valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, resultante de três valores encontrados: ao nível da ponta, o imediatamente anterior e o imediatamente superior

C = Coeficiente característico do solo em kPa, conforme Tabela 3

Em 1996, Décourt introduziu nas parcelas de resistência de ponta e lateral, respectivamente, os fatores α e β , resultando na equação 17. (CINTRA; AOKI, 2010)

$$R = \alpha \times C \times N_p \times A_p + \beta \times 10 \times \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \times U \times L \quad (17)$$

A Tabela 3 traz os valores do coeficiente característico do solo. A Tabela 4 e Tabela 5 trazem, respectivamente, os valores de α e β .

Tabela 3 - Coeficiente característico do solo C

| Tipo de solo | C (kPa) |
|----------------|---------|
| Argila | 120 |
| Silte argiloso | 200 |
| Silte arenoso | 250 |
| Areia | 400 |

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 4 - Valores de α em função do tipo de estaca e do tipo de solo

| Tipo de solo | Tipo de estaca | | | | |
|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|------|-----------------------------|
| | Escavada em geral | Escavada (bentonica) | Hélice contínua | Raiz | Injetada sob altas pressões |
| Argilas | 0,85 | 0,85 | 0,3 | 0,85 | 1,0 |
| Solos intermediários | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 1,0 |
| Areias | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 1,0 |

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 5 - Valores de β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

| Tipo de solo | Tipo de estaca | | | | |
|----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|------|-----------------------------|
| | Escavada em geral | Escavada (bentonica) | Hélice contínua | Raiz | Injetada sob altas pressões |
| Argilas | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,5 | 3,0 |
| Solos intermediários | 0,65 | 0,75 | 1,0 | 1,5 | 3,0 |
| Areias | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 1,5 | 3,0 |

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

2.3.3 Método David Cabral (1986)

Cabral desenvolveu um método para a determinação da capacidade de carga de estacas raiz com diâmetro $B \leq 45$ cm e injetada com pressão $p \leq 4$ kgf/cm², que pode ser estimada com a equação (21).

$$R = R_p + R_L \quad (18)$$

Onde:

R = Capacidade de carga

R_p = Resistência de ponta

R_L = Resistência lateral

$$R_p = (\beta_0 \times \beta_2 \times N_b) \times A_p \quad (19)$$

$$R_L = U \sum (\beta_0 \times \beta_1 \times N) \times \Delta L \quad (20)$$

$$R = (\beta_0 \times \beta_2 \times N_b) \times A_p + U \sum (\beta_0 \times \beta_1 \times N) \times \Delta L \quad (21)$$

Onde:

ΔL = Espessura de solo caracterizado por um dado N

N_b = N no nível da ponta

β_0 = fator que depende do diâmetro da estaca B (em cm) e da pressão de injeção p (em kgf/cm²) β_0 pode ser calculado pela equação 22 ou pode ser usada a Tabela 6.

$$\beta_0 = 1 + 0,11p - 0,01B \quad (22)$$

Onde:

B = Diâmetro da estaca

p = Pressão de injeção

Tabela 6 - Fator β_0

| B (cm) | p (kgf/cm ²) | | | |
|--------|--------------------------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 10 | 0,90 | 1,01 | 1,12 | 1,23 |
| 12 | 0,88 | 0,99 | 1,10 | 1,21 |
| 15 | 0,85 | 0,96 | 1,07 | 1,18 |
| 16 | 0,84 | 0,95 | 1,06 | 1,17 |
| 20 | 0,80 | 0,91 | 1,02 | 1,13 |
| 25 | 0,75 | 0,86 | 0,97 | 1,08 |
| 31 | 0,69 | 0,80 | 0,91 | 1,02 |
| 42 | 0,58 | 0,69 | 0,80 | 0,91 |

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Tabela 7 - Fatores β_1 e β_2

| Solo | β_1 (%) | β_2 |
|----------------|---------------|-----------|
| Areia | 7 | 3 |
| Areia siltosa | 8 | 2,8 |
| Areia argilosa | 8 | 2,3 |
| Silte | 5 | 1,8 |
| Silte arenoso | 6 | 2 |
| Silte argiloso | 3,5 | 1 |
| Argila | 5 | 1 |
| Argila arenosa | 5 | 1,5 |
| Argila siltosa | 4 | 1 |

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

2.4 Carga Admissível

Os valores da capacidade de carga variam devido à variabilidade do terreno, então é introduzido o conceito de carga admissível, onde é utilizado o valor médio da capacidade de carga (CINTRA; AOKI, 2010). A carga admissível é estimada a partir da equação 23.

$$P_a = \frac{R_{med}}{F_S} \quad (23)$$

Onde:

P_a = Carga admissível

R_{med} = Capacidade de carga média das estacas

F_S = fator de segurança

Conforme o item 6.2.1.2.1 da ABNT NBR 6122/2019 o fator de segurança (F_s) de fundações profundas, cuja capacidade de carga foi determinada por métodos semi empíricos, é 2,0. Aoki e Velloso (1975) adotam o valor da norma, já Décourt-Quaresma (1978) adota valores diferentes para as parcelas de resistência de ponta e de atrito, conforme equação (24).

$$P_a = \frac{R_p}{4} + \frac{R_L}{1,3} \quad (24)$$

Onde:

P_a = Carga admissível

R_p = Resistência de ponta

R_L = Resistência lateral

A norma ainda traz que caso o contato efetivo entre estaca e solo firme ou rocha não seja assegurado pelo executor, a resistência de ponta deverá ser nula.

2.5 Orçamento e Composição de Custo

A importância da realização de orçamentos é muito notória, pois este possibilita a clareza com relação aos custos de uma construção, permitindo que empresas forneçam preços factíveis à um cliente. Erros nesta fase acarretam orçamentos superestimados ou subestimados, que levam ou a perda de uma potencial venda, ou ao prejuízo decorrente de um orçamento defasado. Portanto, neste processo de orçamento, é necessário que haja uma constante interação com todos os fornecedores, além da obtenção de dados muito claros, evitando retrabalhos, falhas ou erros no resultado final. (CARVALHO; MARCHIORI, 2019)

Mattos (2006) separa a composição de custos em seis etapas: identificação dos serviços, levantamento de quantitativos, discriminação dos custos diretos, discriminação dos custos indiretos, cotação de preços e definição de encargos sociais e trabalhistas.

Para realizar um orçamento eficiente é preciso fazer levantamento e quantificação de todos os serviços previstos na obra. Esta etapa requer maior cautela, pois pode impactar no custo da obra e no cronograma. (CARVALHO; MARCHIORI, 2019)

“Define-se como custo direto de um produto a soma dos custos de todos os insumos que a ele se incorporam, sendo mensuráveis e direta e facilmente relacionáveis com o produto.” (LIMMER, 1997, p. 100). O custo direto pode ser obtido através de composições próprias ou tabelas de composição de custos prontas, como, por exemplo, a TCPO, da editora Pini, o SINAPI, da Caixa Econômica Federal, e o SIENGE, da Softplan.

O custo indireto está relacionado com despesas não relacionadas diretamente com a execução de um serviço, ou seja, são os custos que não foram lançados nas composições de custo unitário. (DORNELES, 2021)

A cotação de preços é realizada para os custos diretos e indiretos, Mattos (2006, p. 29) diz que “é importante que esta etapa seja feita em seguida à seleção das composições de custos, para que o orçamentista possa ter uma relação completa de todos os insumos do orçamento.”. A determinação de encargos sociais e trabalhistas é explanada como:

Definição do percentual de encargos sociais e trabalhistas a ser aplicado à mão-de-obra. Envolve diversos impostos que incidem sobre a hora trabalhada e os benefícios a que têm direito os trabalhadores e que são pagos pelo empregador. (MATTOS, 2006, p. 30)

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso do presente trabalho é um edifício multifamiliar localizado em Jurerê Internacional, Florianópolis/SC. O terreno do empreendimento encontra-se numa região plana e de fácil acesso, conforme Figura 3.

Figura 3 - Foto área do terreno



Fonte: Google maps (2021), modificado.

O edifício será construído em alvenaria convencional e constituído por seis pavimentos, sendo eles: subsolo, térreo, dois pavimentos tipos formados por apartamentos de um e dois dormitórios, um pavimento de lofts duplex e cobertura com área social. A Figura 4 mostra como será a edificação.

Figura 4 – Fachada do edifício



Fonte: Ocean Island (2021).

Os dados geotécnicos do terreno, estudo de caso, podem ser obtidos nos laudos de sondagem, nos anexos A, B, C, D, E e F deste trabalho.

Na Tabela 8, abaixo, constam as cargas dos pilares obtidas na Planta de Cargas da obra, fornecida pela construtora, com exceção da carga do pilar P01, cujo valor não foi informado na Planta de Cargas.

Tabela 8 – Carga dos pilares

| Pilar | Carga (kN) | Pilar | Carga (kN) | Pilar | Carga (kN) |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| P01 | * | P20 | 1350 | P39 | 2250 |
| P02 | 100 | P21 | 1000 | P40 | 2650 |
| P03 | 50 | P22 | 2550 | P41 | 2800 |
| P04 | 100 | P23 | 2300 | P42 | 2250 |
| P05 | 100 | P24 | 1400 | P43 | 1000 |
| P06 | 100 | P25 | 1900 | P44 | 2450 |
| P07 | 350 | P26 | 1750 | P45 | 1400 |
| P08 | 600 | P27 | 3450 | P46 | 300 |
| P09 | 300 | P28 | 3500 | P47 | 1400 |
| P10 | 1050 | P29 | 2400 | P48 | 400 |
| P11 | 1150 | P30 | 2050 | P49 | 700 |
| P12 | 900 | P31 | 1500 | P50 | 1100 |
| P13 | 900 | P32 | 2000 | P51 | 1350 |
| P14 | 600 | P33 | 1900 | P52 | 1550 |
| P15 | 1100 | P34 | 2450 | P53 | 1400 |
| P16 | 1300 | P35 | 1600 | P54 | 1350 |
| P17 | 1600 | P36 | 3750 | P55 | 1350 |
| P18 | 1700 | P37 | 1450 | P56 | 1100 |
| P19 | 1300 | P38 | 1750 | P57 | 1300 |

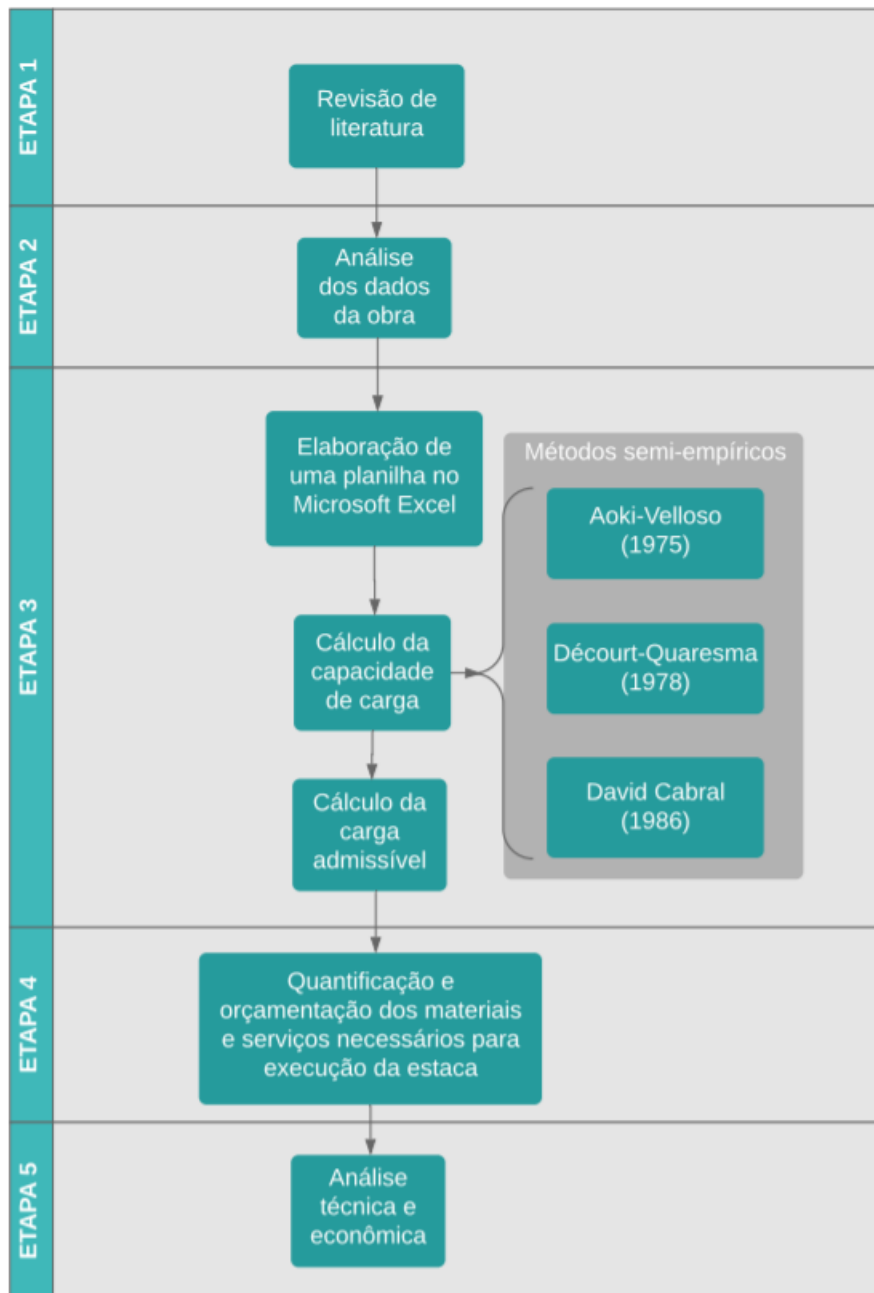
Fonte: adaptado de FN Engenharia de Estruturas (2022).

4 MÉTODO DE PESQUISA

Levando em consideração o objetivo deste trabalho, isto é, uma análise da viabilidade técnica e econômica entre dois tipos de fundações profundas, faz-se necessária, a realização de um estudo de caso. Para esse estudo será avaliado o projeto estrutural de um edifício residencial localizado em Jurerê Internacional na cidade de Florianópolis/SC.

A metodologia empregada nesta pesquisa foi dividida em cinco partes: (1) revisão de literatura; (2) obtenção e análise dos dados da obra; (3) previsão de capacidade de carga das fundações através de métodos semi-empíricos; (4) quantificação e orçamentação e (5) análise dos dados encontrados. Na Figura 5 pode-se observar a estruturação metodológica do trabalho.

Figura 5 - Fluxograma



Fonte: Autora (2022).

4.1 Revisão de Literatura

Realizou-se esta etapa através de pesquisas em livros, trabalhos acadêmicos e artigos técnicos, a fim de se obter embasamento teórico na literatura. Pesquisou-se as principais metodologias e abordagens sobre fundações profundas, enfatizando-se o dimensionamento de estacas do tipo hélice contínua e estacas raiz.

4.2 Dados da Obra

Obteve-se junto a construtora as plantas de cargas e locação de pilares, sendo que com base nestes dados elaborou-se a Tabela 8 – Carga dos pilares.

Através dos dados de sondagem SPT, também fornecidos pela construtora, traçou-se o perfil geotécnico do terreno. Conforme já mencionado, os anexos A, B, C, D, E e F exibem a locação dos furos da sondagem SPT e os laudos.

Segundo Santos (1997), a região do bairro de Jurerê, onde se encontra a obra estudo de caso, é formada por solo sedimentar. A autora ainda ressalta que nos solos argilosos ocorrem maiores problemas na engenharia de fundações, devido a isto, ela destaca que é de suma importância a realização de sondagem à percussão para a determinação da espessura e da resistência da camada mole.

4.3 Capacidade de Carga

Para a determinação da capacidade de carga e carga admissível das fundações utilizou-se os métodos de: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986). Para otimização dos cálculos, fez-se uso de planilhas do Software Microsoft Excel.

Para a previsão da capacidade de carga, fez-se a análise das fundações referentes aos pontos com maior e menor carga aplicada.

Aplicou-se o método David Cabral no cálculo da estaca raiz, pois ele foi desenvolvido especificamente para este tipo de fundação. Utilizou-se também este método somente para o cálculo da estaca de menor carga, pois a de maior carga

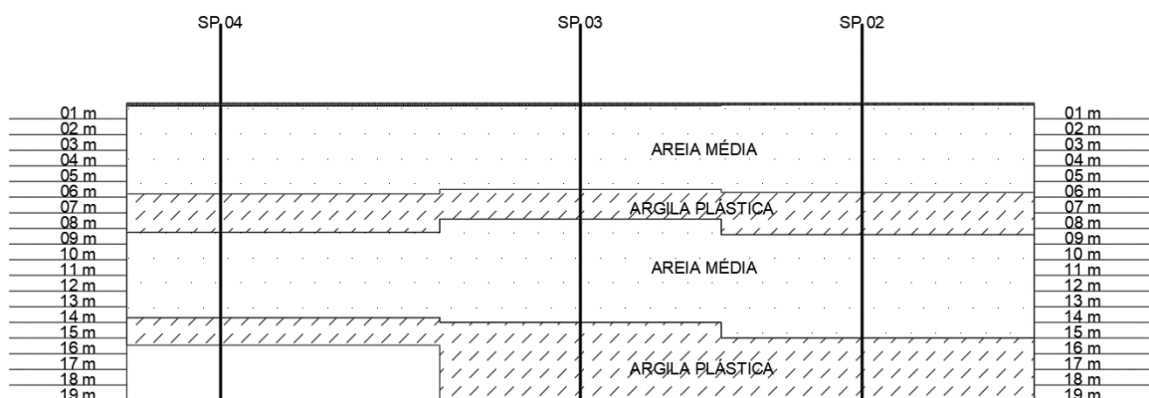
requer um diâmetro maior que 45 cm, devido à resistência que o solo apresenta, impossibilitando a utilização deste método.

Com objetivo de facilitar a comparação, durante os cálculos da capacidade de carga da estaca raiz e da hélice contínua, utilizou-se o mesmo diâmetro de estaca em ambos os casos.

A estaca raiz tem diâmetro nominal de 150 a 450 mm, segundo a NBR 6122/2019. Como a norma não traz o diâmetro mínimo para estaca hélice contínua monitorada fez-se uma pesquisa na região da grande Florianópolis para descobrir o menor diâmetro executado na região e encontrou-se 30 cm como sendo diâmetro mínimo, cujo valor será utilizado para os cálculos.

Com a intenção de favorecer a segurança, utilizou-se o laudo de sondagem mais desfavorável para o dimensionamento da estaca, o SP 02. A Figura 6 apresenta o perfil geotécnico do terreno. Os respectivos valores do NSPT estão nos anexos B, C, D, E e F.

Figura 6 – Perfil geotécnico do terreno



Fonte: Autora (2022).

Os pilares P02, P03, P04, P05 e P06 apresentam as menores cargas, no entanto elas não foram utilizadas neste trabalho, pois na obra, objeto de estudo, as fundações projetadas para estes pilares foram fundações rasas. Portanto, começou-

se a analisar qual pilar possui a menor carga a partir do pilar P07. O anexo G apresenta a planta de carga e locação dos pilares.

4.4 Quantificação e Orçamentação

Para realização da análise econômica das fundações, fez-se importante a quantificação e orçamentação dos materiais e serviços necessários para execução das fundações calculadas.

Realizou-se a orçamentação com o auxílio do software PLEO, o qual foi desenvolvido pela empresa Franarin, fundada em 1983, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. O PLEO, Planilha Eletrônica de Orçamentos, é um software pago alimentado com dados do SINAPI e é utilizado para obras nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. Com este software é possível fazer orçamentos de obras, cronogramas físico-financeiros, curvas ABC, relação de insumos, caderno de encargos e gerenciamento. A Figura 7 apresenta a interface do software PLEO.

O SINAPI, Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil, é um sistema de produção conjunta da Caixa Econômica Federal com o IBGE, o qual tem como finalidade produzir séries mensais de custos e índices para o setor habitacional, de salários medianos de mão de obra, preços medianos de materiais, máquinas e equipamentos e serviços da construção para os setores de saneamento básico, infraestrutura e habitação. (IBGE, [s. d.]

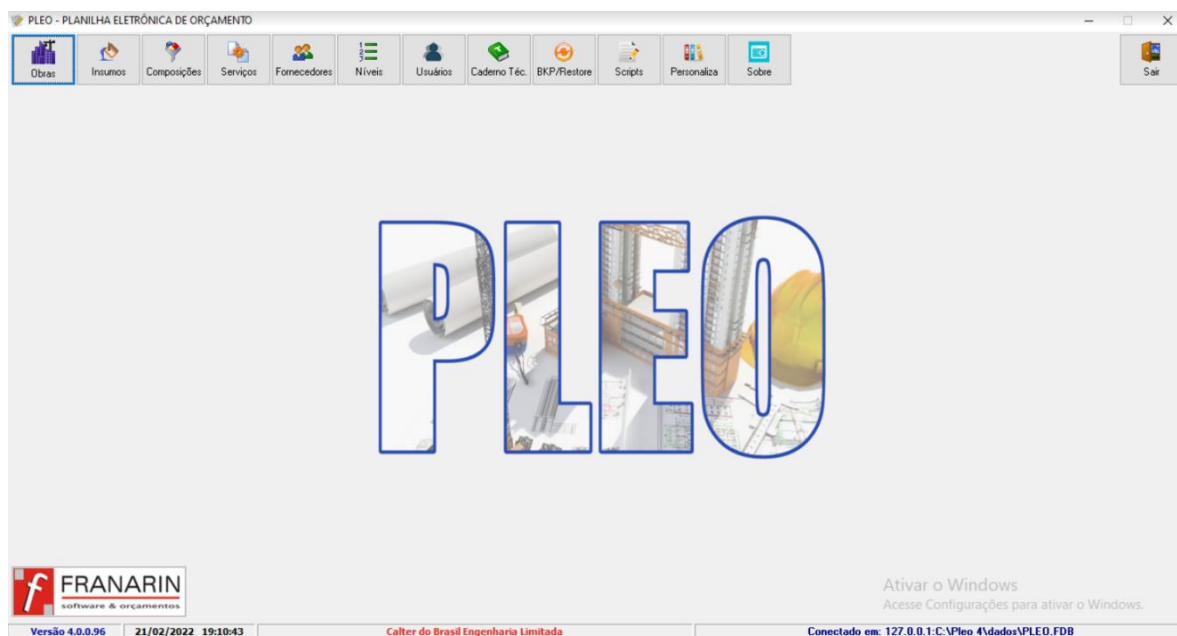


Figura 7 – Página inicial PLEO

Fonte: Autora (2022).

4.5 Análise dos Dados Obtidos

Análise das fundações calculadas e orçadas, buscando-se determinar aquela mais adequada, levando-se em conta a técnica e o custo para obra objeto de estudo.

Para análise técnica foram levados em considerações os seguintes itens: tempo de execução; se na região de Florianópolis, cidade na qual está localizada a obra de estudo, existe mão de obra própria treinada para execução da estaca e se existem equipamentos disponíveis para realização da estaca.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir, com o objetivo de demonstrar os cálculos que foram realizados, tomou-se, a título de exemplo, o menor valor de carga vertical dos pilares analisados

e detalhou-se os cálculos para determinar a capacidade de carga e a carga admissível para estacas dos tipos hélice contínua e raiz. Na sequência tem-se as tabelas apresentando os resultados para todas as camadas de solo e, por fim, a tabela resumo com os resultados finais e orçamentação.

5.1 Hélice Contínua

A seguir tem-se os cálculos para determinação da capacidade de carga e da carga admissível para estaca do tipo hélice contínua através dos métodos semi-empíricos apresentados no capítulo de fundamentação teórica.

5.1.1 Capacidade de Carga e Carga Admissível

5.1.1.1 Aoki-Velloso (1975)

Parâmetros de projeto estabelecidos:

- Ensaio SPT: SP02
- Carga do pilar P09: 30 ft = 294,20 kN (pilar com menor carga)
- Diâmetro: 0,30 m (menor diâmetro comercial encontrado na grande Florianópolis)
- Comprimento: conforme já mencionado, com o objetivo de apresentar-se a aplicação numérica dos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, apresenta-se, detalhadamente, a determinação de capacidade de carga das fundações somente nos primeiros 3 metros de profundidade; para análise das fundações nas demais camadas de solo, apresenta-se a Tabela 9 e Tabela 10 abaixo.

As equações 1 a 12 presentes na fundamentação teórica serão usadas a seguir.

Primeira etapa: adotar os fatores de correção F_1 e F_2 para a estaca escolhida.

$$F_1 = 2 \text{ e } F_2 = 4$$

Segunda etapa: calcular a resistência de ponta (R_p). Considerando-se a estaca apoiada a três metros de profundidade, onde encontra-se areia, o valor de K é 1 MPa.

$$R_p = r_p \times A_p \quad (25)$$

$$R_p = \frac{N_{SPT} \times N}{F_1} \times \frac{d^2 \times \pi}{4} = \frac{30 \times 1000}{2} \times \frac{0,30^2 \times \pi}{4} = 1060,29 \text{ kN} \quad (26)$$

Terceira etapa: calcular a resistência lateral (R_L) de cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Como nos três primeiros metros de solo tem-se areia, fez-se uma média dos valores de N_{SPT} neste trecho, obtendo-se um valor médio de resistência lateral nesta camada. O valor de α para areia é 1,4%.

$$R_L = U \times \sum_1^n (r_L \times \Delta l) = (2 \times \pi \times r) \times \left(\frac{N_{SPT} \times K \times \alpha}{F_2} \right) \times \Delta l \quad (27)$$

$$R_L = (2 \times \pi \times 0,15) \times \left(\frac{\left(\frac{18+30+31}{3} \right) \times 1000 \times 1,4\%}{4} \right) \times 3 = 260,60 \text{ kN} \quad (28)$$

Quarta etapa: calcular a capacidade de carga da estaca, a qual é o somatório da resistência de ponta e de atrito lateral.

$$R = R_p + R_L \quad (29)$$

$$R = 1060,29 + 260,60 = 1321,00 \text{ kN} \quad (30)$$

Quinta etapa: calcular a carga admissível. Ela é a razão entre a capacidade de carga e o fator de segurança global. Aoki-Velloso (1975) adotam o fator de segurança igual a dois.

$$P_a = \frac{R_{med}}{F_s} \quad (31)$$

$$P_a = \frac{1321,00}{2} = 660,44 \text{ kN} \quad (32)$$

A Tabela 9 apresenta os valores para menor carga de pilar, P09, e a Tabela 10 apresenta os resultados para maior carga vertical, P36. As células em negrito indicam que a carga admissível da fundação naquela profundidade é compatível com a carga do pilar.

O diâmetro utilizado para o cálculo da menor carga foi de trinta centímetros. Na Tabela 9 percebe-se que a carga admissível da fundação a três metros de profundidade é compatível com a carga aplicada; no entanto, logo mais abaixo desta camada há uma redução importante nestes valores. Devido a isto, optou-se por executar a estaca com nove metros de profundidade, pois a partir deste ponto tem-se valores de carga admissível adequados à carga aplicada.

Tabela 9 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de menor carga

| Diâmetro estaca: 30 cm | | | Aoki-Velloso | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | K [MPa] | α [%] | R _p [kN] | R _L [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 1,00 | 1,4% | 636 | 59 | 696 | 348 |
| 2 | 31 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1096 | 162 | 1257 | 629 |
| 3 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 261 | 1321 | 660 |
| 4 | 32 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1131 | 366 | 1497 | 749 |
| 5 | 23 | Argila | 0,20 | 6,0% | 163 | 431 | 594 | 297 |
| 6 | 4 | Argila | 0,20 | 6,0% | 28 | 442 | 471 | 235 |
| 7 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 459 | 502 | 251 |
| 8 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 78 | 491 | 568 | 284 |
| 9 | 26 | Areia | 1,00 | 1,4% | 919 | 576 | 1495 | 748 |
| 10 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 675 | 1736 | 868 |
| 11 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 774 | 1835 | 917 |
| 12 | 40 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1414 | 906 | 2320 | 1160 |
| 13 | 42 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1484 | 1045 | 2529 | 1265 |
| 14 | 33 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1166 | 1154 | 2320 | 1160 |
| 15 | 3 | Argila | 0,20 | 6,0% | 21 | 1162 | 1183 | 592 |
| 16 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 71 | 1190 | 1261 | 631 |
| 17 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 1207 | 1250 | 625 |
| 18 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 49 | 1227 | 1277 | 638 |
| 19 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 49 | 1247 | 1296 | 648 |
| 20 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 1264 | 1306 | 653 |
| 21 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 78 | 1295 | 1373 | 686 |
| 22 | 9 | Argila | 0,20 | 6,0% | 64 | 1320 | 1384 | 692 |
| 23 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1343 | 1400 | 700 |
| 24 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1366 | 1422 | 711 |
| 25 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 71 | 1394 | 1465 | 732 |
| 26 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1417 | 1473 | 737 |
| 27 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1430 | 1571 | 786 |
| 28 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1443 | 1584 | 792 |
| 29 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1459 | 1636 | 818 |
| 30 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1476 | 1653 | 826 |
| 31 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1492 | 1669 | 835 |
| 32 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1506 | 1647 | 823 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 78 | 1517 | 1595 | 797 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 78 | 1528 | 1606 | 803 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

O diâmetro utilizado para o cálculo da maior carga foi de noventa centímetros, valor mínimo para que a carga admissível da fundação fosse compatível com a carga aplicada. Na Tabela 10 percebe-se que a carga admissível da fundação a três metros de profundidade é compatível com a carga aplicada; porém, logo mais abaixo desta camada ocorre uma redução importante destes valores. Portanto, optou-se por executar a estaca com nove metros de profundidade, pois a partir deste ponto há valores de carga admissível adequados à carga aplicada.

Tabela 10 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de maior carga

| Diâmetro estaca: 90 cm | | | Aoki-Velloso | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | K [MPa] | α [%] | R _p [kN] | R _l [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 1,00 | 1,4% | 5726 | 178 | 5904 | 2952 |
| 2 | 31 | Areia | 1,00 | 1,4% | 9861 | 485 | 10346 | 5173 |
| 3 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 9543 | 782 | 10324 | 5162 |
| 4 | 32 | Areia | 1,00 | 1,4% | 10179 | 1098 | 11277 | 5639 |
| 5 | 23 | Argila | 0,20 | 6,0% | 1463 | 1294 | 2757 | 1378 |
| 6 | 4 | Argila | 0,20 | 6,0% | 254 | 1327 | 1582 | 791 |
| 7 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 382 | 1378 | 1760 | 880 |
| 8 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 700 | 1472 | 2171 | 1086 |
| 9 | 26 | Areia | 1,00 | 1,4% | 8270 | 1729 | 9999 | 5000 |
| 10 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 9543 | 2026 | 11568 | 5784 |
| 11 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 9543 | 2323 | 11865 | 5933 |
| 12 | 40 | Areia | 1,00 | 1,4% | 12723 | 2719 | 15442 | 7721 |
| 13 | 42 | Areia | 1,00 | 1,4% | 13360 | 3134 | 16494 | 8247 |
| 14 | 33 | Areia | 1,00 | 1,4% | 10497 | 3461 | 13958 | 6979 |
| 15 | 3 | Argila | 0,20 | 6,0% | 191 | 3486 | 3677 | 1839 |
| 16 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 636 | 3571 | 4207 | 2104 |
| 17 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 382 | 3622 | 4004 | 2002 |
| 18 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 445 | 3681 | 4127 | 2063 |
| 19 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 445 | 3741 | 4186 | 2093 |
| 20 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 382 | 3792 | 4173 | 2087 |
| 21 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 700 | 3885 | 4585 | 2292 |
| 22 | 9 | Argila | 0,20 | 6,0% | 573 | 3961 | 4534 | 2267 |
| 23 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 509 | 4029 | 4538 | 2269 |
| 24 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 509 | 4097 | 4606 | 2303 |
| 25 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 636 | 4182 | 4818 | 2409 |
| 26 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 509 | 4250 | 4759 | 2379 |
| 27 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1272 | 4289 | 5562 | 2781 |
| 28 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1272 | 4329 | 5601 | 2801 |
| 29 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1590 | 4378 | 5969 | 2984 |
| 30 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1590 | 4428 | 6018 | 3009 |
| 31 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1590 | 4477 | 6068 | 3034 |
| 32 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1272 | 4517 | 5789 | 2895 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 700 | 4551 | 5251 | 2625 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 700 | 4585 | 5285 | 2643 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

5.1.1.2 Décourt-Quaresma (1978)

Parâmetros de projeto estabelecidos:

- Ensaio SPT: SP02
- Carga do pilar P09: 30 ft = 294,20 kN (pilar com menor carga)
- Diâmetro: 0,30 m (menor diâmetro comercial encontrado na grande Florianópolis)
- Comprimento: fez-se também, assim como no método de Aoki-Velloso, o detalhamento dos cálculos nos três primeiros metros de profundidade da estaca.

As equações 13 a 17 presentes na fundamentação teórica serão usadas a seguir.

Primeira etapa: calcular a resistência de ponta (R_p). Considerando-se a estaca apoiada a três metros de profundidade, onde encontra-se areia, o valor de C é 400 kN/m².

$$R_p = r_p \times A_p \quad (33)$$

$$R_p = C \times N_p \times \frac{d^2 \times \pi}{4} = 400 \times \frac{(31 + 30 + 32)}{3} \times \frac{0,30^2 \times \pi}{4} = 876,50 \text{ kN} \quad (34)$$

$$R_p = 12400 \times 0,071 = 876,50 \text{ kN} \quad (35)$$

Segunda etapa: calcular a resistência lateral (R_L) de cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Como nos três primeiros metros de solo tem-se areia, fez-se a média dos valores de NSPT nesse trecho, obtendo-se um valor médio de resistência lateral nessa camada.

$$R_L = r_L \times U \times L \quad (36)$$

$$R_L = 10 \times \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \times 2 \times \pi \times r \times L \quad (37)$$

$$R_L = 10 \times \left[\left(\frac{\left(\frac{30 + 31 + 18}{3} \right)}{3} + 1 \right) \right] \times 2 \times \pi \times 0,15 \times 3 = 276,46 \text{ kN} \quad (38)$$

Terceira etapa: calcular a capacidade de carga da estaca, a qual é o somatório da resistência de ponta e de atrito lateral. As parcelas de resistência de ponta e lateral são multiplicadas, respectivamente, pelos fatores α e β . O valor de α para estaca do tipo hélice contínua em solo arenoso é 0,30 e o valor de β é 1,00.

$$R = \alpha \times R_p + \beta \times R_L \quad (39)$$

$$R = 0,30 \times 876,50 + 1,00 \times 276,46 = 539,41 \text{ kN} \quad (40)$$

Quarta etapa: calcular a carga admissível. Ela é a razão entre a capacidade de carga e o fator de segurança global. Décourt-Quaresma (1978) adota valores diferentes para as parcelas de resistência de ponta e de atrito, conforme equação (24), apresentada na fundamentação teórica. Ainda assim, é necessário fazer a média dos valores de resistência de ponte e de atrito lateral, como mostra a equação (43), e adotar o menor valor.

$$P_a = \frac{R_p \times \alpha}{4} + \frac{R_L \times \beta}{1,3} \quad (41)$$

$$P_a = \frac{876,50 \times 0,30}{4} + \frac{276,46 \times 1,00}{1,3} = 278,40 \text{ kN} \quad (42)$$

$$P_a = \frac{R_p + R_L}{2} \quad (43)$$

$$P_a = \frac{876,50 + 276,46}{2} = 576,48 \text{ kN} \quad (44)$$

Observando as equações (42) e (44), adota-se a carga admissível como 278,40 kN. Portanto, a carga admissível da fundação (278,40 kN) a três metros de profundidade não é compatível com a carga aplicada pelo pilar, isto é, 294,20 kN; logo é necessário realizar o cálculo para outra profundidade ou alterar o diâmetro da estaca.

A Tabela 11 apresenta os valores para menor carga de pilar, P09, e a Tabela 12 apresenta os resultados para maior carga vertical, P36, do cálculo da capacidade de carga e carga admissível para todas as camadas de solo pelo método Décourt-Quaresma (1978). As células em negrito indicam que a carga admissível da fundação naquela profundidade é compatível com a carga do pilar.

O diâmetro utilizado para o cálculo da menor carga foi de trinta centímetros. Observando a Tabela 11 percebe-se que a carga admissível, a partir de quatro metros de profundidade, é compatível com a carga aplicada pelo pilar. Por conta disto, optou-se fazer a estaca com quatro metros de comprimento.

Tabela 11 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de menor carga

| Diâmetro estaca: 30 cm | | | Décourt-Quaresma | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|------------------------|-------------------------------------|------|---------------------|-------------------------------------|------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | C [kN/m ²] | r _p [kN/m ²] | α | R _p [kN] | r _L [kN/m ²] | β | R _L [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 400 | 9800 | 0,30 | 693 | 70 | 1,00 | 66 | 274 | 103 |
| 2 | 31 | Areia | 400 | 10533 | 0,30 | 745 | 113 | 1,00 | 173 | 396 | 189 |
| 3 | 30 | Areia | 400 | 12400 | 0,30 | 877 | 110 | 1,00 | 276 | 539 | 278 |
| 4 | 32 | Areia | 400 | 11333 | 0,30 | 801 | 117 | 1,00 | 386 | 627 | 357 |
| 5 | 23 | Argila | 120 | 2360 | 0,30 | 167 | 87 | 1,00 | 468 | 518 | 373 |
| 6 | 4 | Argila | 120 | 1320 | 0,30 | 93 | 23 | 1,00 | 490 | 518 | 384 |
| 7 | 6 | Argila | 120 | 840 | 0,30 | 59 | 30 | 1,00 | 518 | 536 | 403 |
| 8 | 11 | Argila | 120 | 1720 | 0,30 | 122 | 47 | 1,00 | 562 | 599 | 442 |
| 9 | 26 | Areia | 400 | 8933 | 0,30 | 631 | 97 | 1,00 | 653 | 843 | 550 |
| 10 | 30 | Areia | 400 | 11467 | 0,30 | 811 | 110 | 1,00 | 757 | 1000 | 643 |
| 11 | 30 | Areia | 400 | 13333 | 0,30 | 942 | 110 | 1,00 | 861 | 1144 | 733 |
| 12 | 40 | Areia | 400 | 14933 | 0,30 | 1056 | 143 | 1,00 | 996 | 1313 | 845 |
| 13 | 42 | Areia | 400 | 15333 | 0,30 | 1084 | 150 | 1,00 | 1137 | 1462 | 956 |
| 14 | 33 | Areia | 400 | 10400 | 0,30 | 735 | 120 | 1,00 | 1250 | 1471 | 1017 |
| 15 | 3 | Argila | 120 | 1840 | 0,30 | 130 | 20 | 1,00 | 1269 | 1308 | 986 |
| 16 | 10 | Argila | 120 | 760 | 0,30 | 54 | 43 | 1,00 | 1310 | 1326 | 1012 |
| 17 | 6 | Argila | 120 | 920 | 0,30 | 65 | 30 | 1,00 | 1338 | 1358 | 1034 |
| 18 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,30 | 57 | 33 | 1,00 | 1370 | 1387 | 1058 |
| 19 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,30 | 57 | 33 | 1,00 | 1401 | 1418 | 1082 |
| 20 | 6 | Argila | 120 | 960 | 0,30 | 68 | 30 | 1,00 | 1429 | 1450 | 1105 |
| 21 | 11 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 74 | 47 | 1,00 | 1473 | 1495 | 1139 |
| 22 | 9 | Argila | 120 | 1120 | 0,30 | 79 | 40 | 1,00 | 1511 | 1535 | 1168 |
| 23 | 8 | Argila | 120 | 1000 | 0,30 | 71 | 37 | 1,00 | 1546 | 1567 | 1194 |
| 24 | 8 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 74 | 37 | 1,00 | 1580 | 1602 | 1221 |
| 25 | 10 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 74 | 43 | 1,00 | 1621 | 1643 | 1252 |
| 26 | 8 | Argila | 120 | 880 | 0,30 | 62 | 37 | 1,00 | 1656 | 1674 | 1278 |
| 27 | 4 | Areia | 400 | 2133 | 0,30 | 151 | 23 | 1,00 | 1678 | 1723 | 1302 |
| 28 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,30 | 123 | 23 | 1,00 | 1700 | 1736 | 1317 |
| 29 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,30 | 132 | 27 | 1,00 | 1725 | 1764 | 1337 |
| 30 | 5 | Areia | 400 | 2000 | 0,30 | 141 | 27 | 1,00 | 1750 | 1792 | 1357 |
| 31 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,30 | 132 | 27 | 1,00 | 1775 | 1815 | 1375 |
| 32 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,30 | 123 | 23 | 1,00 | 1797 | 1834 | 1391 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,30 | 71 | 23 | 1,00 | 1819 | 1840 | 1405 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,30 | 71 | 23 | 1,00 | 1841 | 1862 | 1421 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

O diâmetro utilizado para o cálculo da maior carga foi de noventa centímetros, valor mínimo para que a carga admissível da fundação fosse compatível com a carga aplicada. Na Tabela 12 percebe-se que a partir de vinte e quatro metros de profundidade a carga admissível da fundação é compatível com a carga aplicada pelo pilar. Como as camadas abaixo também possuem carga admissível adequadas à carga aplicada, optou-se por fazer a estaca com vinte e quatro metros de profundidade.

Tabela 12 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de maior carga

| Diâmetro estaca: 90 cm | | | Décourt-Quaresma | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|------------------------|-------------------------------------|------|---------------------|-------------------------------------|------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | C [kN/m ²] | r _p [kN/m ²] | α | R _p [kN] | r _L [kN/m ²] | β | R _L [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 400 | 9800 | 0,30 | 6234 | 70 | 1,00 | 198 | 2068 | 620 |
| 2 | 31 | Areia | 400 | 10533 | 0,30 | 6701 | 113 | 1,00 | 518 | 2529 | 901 |
| 3 | 30 | Areia | 400 | 12400 | 0,30 | 7889 | 110 | 1,00 | 829 | 3196 | 1230 |
| 4 | 32 | Areia | 400 | 11333 | 0,30 | 7210 | 117 | 1,00 | 1159 | 3322 | 1432 |
| 5 | 23 | Argila | 120 | 2360 | 0,30 | 1501 | 87 | 1,00 | 1404 | 1855 | 1193 |
| 6 | 4 | Argila | 120 | 1320 | 0,30 | 840 | 23 | 1,00 | 1470 | 1722 | 1194 |
| 7 | 6 | Argila | 120 | 840 | 0,30 | 534 | 30 | 1,00 | 1555 | 1715 | 1236 |
| 8 | 11 | Argila | 120 | 1720 | 0,30 | 1094 | 47 | 1,00 | 1687 | 2015 | 1380 |
| 9 | 26 | Areia | 400 | 8933 | 0,30 | 5683 | 97 | 1,00 | 1960 | 3665 | 1934 |
| 10 | 30 | Areia | 400 | 11467 | 0,30 | 7295 | 110 | 1,00 | 2271 | 4460 | 2294 |
| 11 | 30 | Areia | 400 | 13333 | 0,30 | 8482 | 110 | 1,00 | 2582 | 5127 | 2623 |
| 12 | 40 | Areia | 400 | 14933 | 0,30 | 9500 | 143 | 1,00 | 2988 | 5838 | 3011 |
| 13 | 42 | Areia | 400 | 15333 | 0,30 | 9755 | 150 | 1,00 | 3412 | 6338 | 3356 |
| 14 | 33 | Areia | 400 | 10400 | 0,30 | 6616 | 120 | 1,00 | 3751 | 5736 | 3382 |
| 15 | 3 | Argila | 120 | 1840 | 0,30 | 1171 | 20 | 1,00 | 3808 | 4159 | 3017 |
| 16 | 10 | Argila | 120 | 760 | 0,30 | 483 | 43 | 1,00 | 3930 | 4075 | 3059 |
| 17 | 6 | Argila | 120 | 920 | 0,30 | 585 | 30 | 1,00 | 4015 | 4191 | 3132 |
| 18 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,30 | 509 | 33 | 1,00 | 4109 | 4262 | 3199 |
| 19 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,30 | 509 | 33 | 1,00 | 4203 | 4356 | 3272 |
| 20 | 6 | Argila | 120 | 960 | 0,30 | 611 | 30 | 1,00 | 4288 | 4471 | 3344 |
| 21 | 11 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 662 | 47 | 1,00 | 4420 | 4619 | 3450 |
| 22 | 9 | Argila | 120 | 1120 | 0,30 | 713 | 40 | 1,00 | 4533 | 4747 | 3541 |
| 23 | 8 | Argila | 120 | 1000 | 0,30 | 636 | 37 | 1,00 | 4637 | 4828 | 3615 |
| 24 | 8 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 662 | 37 | 1,00 | 4741 | 4939 | 3696 |
| 25 | 10 | Argila | 120 | 1040 | 0,30 | 662 | 43 | 1,00 | 4863 | 5062 | 3791 |
| 26 | 8 | Argila | 120 | 880 | 0,30 | 560 | 37 | 1,00 | 4967 | 5135 | 3863 |
| 27 | 4 | Areia | 400 | 2133 | 0,30 | 1357 | 23 | 1,00 | 5033 | 5440 | 3973 |
| 28 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,30 | 1103 | 23 | 1,00 | 5099 | 5430 | 4005 |
| 29 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,30 | 1188 | 27 | 1,00 | 5174 | 5530 | 4069 |
| 30 | 5 | Areia | 400 | 2000 | 0,30 | 1272 | 27 | 1,00 | 5250 | 5631 | 4134 |
| 31 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,30 | 1188 | 27 | 1,00 | 5325 | 5681 | 4185 |
| 32 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,30 | 1103 | 23 | 1,00 | 5391 | 5722 | 4230 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,30 | 636 | 23 | 1,00 | 5457 | 5648 | 4245 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,30 | 636 | 23 | 1,00 | 5523 | 5714 | 4296 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

5.2 Estaca Raiz

A seguir serão mostrados os cálculos para determinação da capacidade de carga e da carga admissível para estaca raiz através dos métodos semi-empíricos apresentados no capítulo de fundamentação teórica.

5.2.1 Capacidade de Carga e Carga Admissível

5.2.1.1 Aoki-Velloso (1975)

Parâmetros de projeto estabelecidos:

- Ensaio SPT: SP02
- Carga do pilar P09: 30 ft = 294,20 kN (pilar com menor carga)
- Diâmetro: 0,30 m (menor diâmetro comercial encontrado na grande Florianópolis)
- Comprimento: conforme já mencionado, com o objetivo de apresentar-se a aplicação numérica dos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, apresenta-se, detalhadamente, a determinação de capacidade de carga das fundações somente nos primeiros 3 metros de profundidade; para análise das fundações nas demais camadas de solo, apresenta-se a Tabela 13 e Tabela 14 abaixo.

As equações 1 a 12 presentes na fundamentação teórica serão usadas a seguir.

Primeira etapa: adotar os fatores de correção F_1 e F_2 para a estaca escolhida.

$$F_1 = 2 \text{ e } F_2 = 4$$

Segunda etapa: calcular a resistência de ponta (R_p). Considerando-se a estaca apoiada a três metros de profundidade, onde encontra-se areia, o valor de K é 1 MPa.

$$R_p = r_p \times A_p \quad (45)$$

$$R_p = \frac{N_{SPT} \times K}{F_1} \times \frac{d^2 \times \pi}{4} = \frac{30 \times 1000}{2} \times \frac{0,30^2 \times \pi}{4} = 1060,29 \text{ kN} \quad (46)$$

Terceira etapa: calcular a resistência lateral (R_L) de cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Como nos três primeiros metros de solo tem-se areia, fez-se uma média dos valores de N_{SPT} neste trecho, obtendo-se um valor médio de resistência lateral nesta camada. O valor de α para areia é 1,4%.

$$R_L = U \times \sum_1^n (r_L \times \Delta l) = (2 \times \pi \times r) \times \left(\frac{N_{SPT} \times K \times \alpha}{F_2} \right) \times \Delta l \quad (47)$$

$$R_L = (2 \times \pi \times 0,15) \times \left(\frac{\left(\frac{18+30+31}{3} \right) \times 1000 \times 1,4\%}{4} \right) \times 3 = 260,60 \text{ kN} \quad (48)$$

Quarta etapa: calcular a capacidade de carga da estaca, a qual é o somatório da resistência de ponta e de atrito lateral.

$$R = R_p + R_L \quad (49)$$

$$R = 1060,29 + 260,60 = 1321,00 \text{ kN} \quad (50)$$

Quinta etapa: calcular a carga admissível. Ela é a razão entre a capacidade de carga e o fator de segurança global. Aoki-Velloso (1975) adotam o fator de segurança igual a dois.

$$P_a = \frac{R_{med}}{F_s} \quad (51)$$

$$P_a = \frac{1321,00}{2} = 660,44 \text{ kN} \quad (52)$$

Como mencionado no capítulo 4 – método de pesquisa, não foi feito o cálculo da maior carga vertical, pois para a fundação apresentar resistência ao carregamento aplicado, o diâmetro da estaca deveria ser maior que 45 cm. A seguir será apresentado o cálculo da capacidade de carga e carga admissível para todas as camadas de solo pelo método Aoki-Velloso (1975). A Tabela 13 apresenta os valores para menor carga de pilar, P09. As células em negrito indicam que a carga admissível da fundação naquela profundidade é compatível com a carga do pilar.

O diâmetro utilizado para o cálculo da menor carga foi de trinta centímetros, para facilitar a comparação com a estaca do tipo hélice contínua. Na Tabela 13 percebe-se que a carga admissível da fundação a três metros de profundidade é compatível com a carga aplicada; no entanto, logo mais abaixo desta camada há uma redução importante nestes valores. Devido a isto, optou-se por executar a estaca com nove metros de profundidade, pois a partir deste ponto tem-se valores de carga admissível adequados à carga aplicada.

Tabela 13 – Capacidade de carga e carga admissível Aoki-Velloso para pilar de menor carga

| Diâmetro estaca: 30 cm | | | Aoki-Velloso | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | K [MPa] | α [%] | R _p [kN] | R _l [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 1,00 | 1,4% | 636 | 59 | 696 | 348 |
| 2 | 31 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1096 | 162 | 1257 | 629 |
| 3 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 261 | 1321 | 660 |
| 4 | 32 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1131 | 366 | 1497 | 749 |
| 5 | 23 | Argila | 0,20 | 6,0% | 163 | 431 | 594 | 297 |
| 6 | 4 | Argila | 0,20 | 6,0% | 28 | 442 | 471 | 235 |
| 7 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 459 | 502 | 251 |
| 8 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 78 | 491 | 568 | 284 |
| 9 | 26 | Areia | 1,00 | 1,4% | 919 | 576 | 1495 | 748 |
| 10 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 675 | 1736 | 868 |
| 11 | 30 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1060 | 774 | 1835 | 917 |
| 12 | 40 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1414 | 906 | 2320 | 1160 |
| 13 | 42 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1484 | 1045 | 2529 | 1265 |
| 14 | 33 | Areia | 1,00 | 1,4% | 1166 | 1154 | 2320 | 1160 |
| 15 | 3 | Argila | 0,20 | 6,0% | 21 | 1162 | 1183 | 592 |
| 16 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 71 | 1190 | 1261 | 631 |
| 17 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 1207 | 1250 | 625 |
| 18 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 49 | 1227 | 1277 | 638 |
| 19 | 7 | Argila | 0,20 | 6,0% | 49 | 1247 | 1296 | 648 |
| 20 | 6 | Argila | 0,20 | 6,0% | 42 | 1264 | 1306 | 653 |
| 21 | 11 | Argila | 0,20 | 6,0% | 78 | 1295 | 1373 | 686 |
| 22 | 9 | Argila | 0,20 | 6,0% | 64 | 1320 | 1384 | 692 |
| 23 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1343 | 1400 | 700 |
| 24 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1366 | 1422 | 711 |
| 25 | 10 | Argila | 0,20 | 6,0% | 71 | 1394 | 1465 | 732 |
| 26 | 8 | Argila | 0,20 | 6,0% | 57 | 1417 | 1473 | 737 |
| 27 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1430 | 1571 | 786 |
| 28 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1443 | 1584 | 792 |
| 29 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1459 | 1636 | 818 |
| 30 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1476 | 1653 | 826 |
| 31 | 5 | Areia | 1,00 | 1,4% | 177 | 1492 | 1669 | 835 |
| 32 | 4 | Areia | 1,00 | 1,4% | 141 | 1506 | 1647 | 823 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 78 | 1517 | 1595 | 797 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 0,55 | 2,2% | 78 | 1528 | 1606 | 803 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

5.2.1.2 Décourt-Quaresma (1978)

Parâmetros de projeto estabelecidos:

- Ensaio SPT: SP02
- Carga do pilar P09: 30 ft = 294,20 kN (pilar com menor carga)
- Diâmetro: 0,30 m (menor diâmetro comercial encontrado na grande Florianópolis)
- Comprimento: fez-se também, assim como no método de Aoki-Velloso, o detalhamento dos cálculos nos três primeiros metros de profundidade da estaca.

As equações 13 a 17 presentes na fundamentação teórica serão usadas a seguir.

Primeira etapa: calcular a resistência de ponta (R_p). Considerando-se a estaca apoiada a três metros de profundidade, onde encontra-se areia, o valor de C é 400 kN/m².

$$R_p = r_p \times A_p \quad (53)$$

$$R_p = C \times N_p \times \frac{d^2 \times \pi}{4} = 400 \times \frac{(31 + 30 + 32)}{3} \times \frac{0,30^2 \times \pi}{4} = 876,50 \text{ kN} \quad (54)$$

$$R_p = 12400 \times 0,071 = 876,50 \text{ kN} \quad (55)$$

Segunda etapa: calcular a resistência lateral (R_L) de cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Como nos três primeiros metros de solo tem-se areia, fez-se a média dos valores de NSPT nesse trecho, obtendo-se um valor médio de resistência lateral nessa camada.

$$R_L = r_L \times U \times L \quad (56)$$

$$R_L = 10 \times \left(\frac{N_L}{3} + 1 \right) \times 2 \times \pi \times r \times L \quad (57)$$

$$R_L = 10 \times \left[\left(\frac{\left(\frac{30 + 31 + 18}{3} \right)}{3} + 1 \right) \right] \times 2 \times \pi \times 0,15 \times 3 = 276,46 \text{ kN} \quad (58)$$

Terceira etapa: calcular a capacidade de carga da estaca, a qual é o somatório da resistência de ponta e de atrito lateral. As parcelas de resistência de ponta e lateral são multiplicadas, respectivamente, pelos fatores α e β . O valor de α para estaca raiz em solo arenoso é 0,50 e o valor de β é 1,50.

$$R = \alpha \times R_p + \beta \times R_L \quad (59)$$

$$R = 0,50 \times 876,50 + 1,50 \times 276,46 = 852,94 \text{ kN} \quad (60)$$

Quarta etapa: calcular a carga admissível. Ela é a razão entre a capacidade de carga e o fator de segurança global. Décourt-Quaresma (1978) adota valores diferentes para as parcelas de resistência de ponta e de atrito, conforme equação (24), apresentada na fundamentação teórica. Ainda assim, é necessário fazer a média dos valores de resistência de ponte e de atrito lateral, como mostra a equação (43), e adotar o menor valor.

$$P_a = \frac{R_p \times \alpha}{4} + \frac{R_L \times \beta}{1,3} \quad (61)$$

$$P_a = \frac{876,50 \times 0,50}{4} + \frac{276,46 \times 1,50}{1,3} = 428,56 \text{ kN} \quad (62)$$

$$P_a = \frac{R_p + R_L}{2} \quad (63)$$

$$P_a = \frac{876,50 + 276,46}{2} = 576,48 \text{ kN} \quad (64)$$

Observando as equações (62) e (64), adota-se a carga admissível como 428,56 kN. Portanto, o solo a três metros de profundidade resiste a carga do pilar.

A Tabela 14 apresenta os valores para menor carga de pilar do cálculo da capacidade de carga e carga admissível para todas as camadas de solo pelo método Décourt-Quaresma (1978). O pilar utilizado para menor carga foi o P09. As células em negrito indicam que a carga admissível da fundação naquela profundidade é compatível com a carga do pilar.

O diâmetro utilizado para o cálculo foi de trinta centímetros. Observando a Tabela 14 percebe-se que a carga admissível, a partir de três metros de profundidade, é compatível com a carga aplicada pelo pilar. Por conta disto, optou-se fazer a estaca com três metros de comprimento, valor mínimo para ser considerada fundação profunda.

Tabela 14 – Capacidade de carga e carga admissível Décourt-Quaresma para pilar de menor carga

| Diâmetro estaca: 30 cm | | | Décourt-Quaresma | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|------------------------|-------------------------------------|------|---------------------|-------------------------------------|------|---------------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | C [kN/m ²] | r _p [kN/m ²] | α | R _p [kN] | r _L [kN/m ²] | β | R _L [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 400 | 9800 | 0,50 | 693 | 70 | 1,50 | 66 | 445 | 163 |
| 2 | 31 | Areia | 400 | 10533 | 0,50 | 745 | 113 | 1,50 | 173 | 631 | 292 |
| 3 | 30 | Areia | 400 | 12400 | 0,50 | 877 | 110 | 1,50 | 276 | 853 | 429 |
| 4 | 32 | Areia | 400 | 11333 | 0,50 | 801 | 117 | 1,50 | 386 | 980 | 546 |
| 5 | 23 | Argila | 120 | 2360 | 0,85 | 167 | 87 | 1,50 | 468 | 844 | 576 |
| 6 | 4 | Argila | 120 | 1320 | 0,85 | 93 | 23 | 1,50 | 490 | 814 | 585 |
| 7 | 6 | Argila | 120 | 840 | 0,85 | 59 | 30 | 1,50 | 518 | 828 | 611 |
| 8 | 11 | Argila | 120 | 1720 | 0,85 | 122 | 47 | 1,50 | 562 | 947 | 675 |
| 9 | 26 | Areia | 400 | 8933 | 0,50 | 631 | 97 | 1,50 | 653 | 1296 | 833 |
| 10 | 30 | Areia | 400 | 11467 | 0,50 | 811 | 110 | 1,50 | 757 | 1541 | 975 |
| 11 | 30 | Areia | 400 | 13333 | 0,50 | 942 | 110 | 1,50 | 861 | 1762 | 1111 |
| 12 | 40 | Areia | 400 | 14933 | 0,50 | 1056 | 143 | 1,50 | 996 | 2022 | 1281 |
| 13 | 42 | Areia | 400 | 15333 | 0,50 | 1084 | 150 | 1,50 | 1137 | 2248 | 1448 |
| 14 | 33 | Areia | 400 | 10400 | 0,50 | 735 | 120 | 1,50 | 1250 | 2243 | 1535 |
| 15 | 3 | Argila | 120 | 1840 | 0,85 | 130 | 20 | 1,50 | 1269 | 2014 | 1492 |
| 16 | 10 | Argila | 120 | 760 | 0,85 | 54 | 43 | 1,50 | 1310 | 2011 | 1523 |
| 17 | 6 | Argila | 120 | 920 | 0,85 | 65 | 30 | 1,50 | 1338 | 2063 | 1558 |
| 18 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,85 | 57 | 33 | 1,50 | 1370 | 2103 | 1592 |
| 19 | 7 | Argila | 120 | 800 | 0,85 | 57 | 33 | 1,50 | 1401 | 2150 | 1629 |
| 20 | 6 | Argila | 120 | 960 | 0,85 | 68 | 30 | 1,50 | 1429 | 2202 | 1664 |
| 21 | 11 | Argila | 120 | 1040 | 0,85 | 74 | 47 | 1,50 | 1473 | 2273 | 1716 |
| 22 | 9 | Argila | 120 | 1120 | 0,85 | 79 | 40 | 1,50 | 1511 | 2334 | 1760 |
| 23 | 8 | Argila | 120 | 1000 | 0,85 | 71 | 37 | 1,50 | 1546 | 2379 | 1798 |
| 24 | 8 | Argila | 120 | 1040 | 0,85 | 74 | 37 | 1,50 | 1580 | 2433 | 1839 |
| 25 | 10 | Argila | 120 | 1040 | 0,85 | 74 | 43 | 1,50 | 1621 | 2494 | 1886 |
| 26 | 8 | Argila | 120 | 880 | 0,85 | 62 | 37 | 1,50 | 1656 | 2536 | 1924 |
| 27 | 4 | Areia | 400 | 2133 | 0,50 | 151 | 23 | 1,50 | 1678 | 2592 | 1955 |
| 28 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,50 | 123 | 23 | 1,50 | 1700 | 2611 | 1976 |
| 29 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,50 | 132 | 27 | 1,50 | 1725 | 2653 | 2007 |
| 30 | 5 | Areia | 400 | 2000 | 0,50 | 141 | 27 | 1,50 | 1750 | 2695 | 2037 |
| 31 | 5 | Areia | 400 | 1867 | 0,50 | 132 | 27 | 1,50 | 1775 | 2728 | 2065 |
| 32 | 4 | Areia | 400 | 1733 | 0,50 | 123 | 23 | 1,50 | 1797 | 2757 | 2089 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,60 | 71 | 23 | 1,50 | 1819 | 2771 | 2109 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 250 | 1000 | 0,60 | 71 | 23 | 1,50 | 1841 | 2804 | 2135 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

5.2.1.3 David Cabral (1986)

Parâmetros de projeto estabelecidos:

- Ensaio SPT: SP02
- Carga do pilar P09: 30 ft = 294,20 kN (pilar com menor carga)
- Diâmetro: 0,30 m (menor diâmetro comercial encontrado na grande Florianópolis)
- Comprimento: fez-se também, o detalhamento dos cálculos nos três primeiros metros de profundidade da estaca.

As equações 18 a 22 presentes na fundamentação teórica serão usadas a seguir.

Primeira etapa: calcular β_0 , que é um fator que depende do diâmetro da estaca B (em cm) e da pressão de injeção p (em kgf/cm²). A pressão de injeção vai ser considerada nula.

$$\beta_0 = 1 + 0,11p - 0,01B \quad (65)$$

$$\beta_0 = 1 + 0,11 \times 0 - 0,01 \times 30 = 0,70 \quad (66)$$

Segunda etapa: calcular a resistência de ponta (R_p). O fator β_2 é dado pela Tabela 7, presente no capítulo dois deste trabalho.

$$R_p = (\beta_0 \times \beta_2 \times N_b) \times A_p \quad (67)$$

$$A_p = \pi \times r^2 \quad (68)$$

$$A_p = \pi \times 15^2 = 706,86 \text{ cm}^2 = 0,071 \text{ m}^2 \quad (69)$$

$$R_p = (70 \times 3 \times 30) \times 0,071 = 445,32 \text{ kN} \quad (70)$$

Terceira etapa: calcular a resistência lateral (RL) de cada camada de solo ao longo do fuste da estaca. Os fatores β_1 e β_2 são dados pela Tabela 7, presente no capítulo dois deste trabalho.

$$R_L = U \sum (\beta_0 \times \beta_1 \times N) \times \Delta L \quad (71)$$

$$U = 2 \times \pi \times r \quad (72)$$

$$U = 2 \times \pi \times 15 = 94,25 \text{ cm} = 0,94 \text{ m} \quad (73)$$

$$R_{L(1 \text{ m})} = 0,94 \times (70 \times 7\% \times 18) \times 1 = 83,13 \text{ kN} \quad (74)$$

$$R_{L(2 \text{ m})} = 0,94 \times (70 \times 7\% \times 31) \times 1 = 143,16 \text{ kN} \quad (75)$$

$$R_{L(3 \text{ m})} = 0,94 \times (70 \times 7\% \times 30) \times 1 = 138,55 \text{ kN} \quad (76)$$

$$R_L = R_{L(1 \text{ m})} + R_{L(2 \text{ m})} + R_{L(3 \text{ m})} = 83,13 + 143,16 + 138,55 = 364,83 \text{ kN} \quad (77)$$

Quarta etapa: calcular a capacidade de carga da estaca, a qual é o somatório da resistência de ponta e de atrito lateral.

$$R = R_p + R_L \quad (78)$$

$$R = 445,32 + 364,83 = 810,15 \text{ kN} \quad (79)$$

Quinta etapa: calcular a carga admissível. Ela é a razão entre a capacidade de carga e o fator de segurança global. Assim como Aoki-Velloso (1975), David Cabral (1986) adota o fator de segurança igual a dois.

$$P_a = \frac{R_{med}}{F_s} \quad (80)$$

$$P_a = \frac{810,15}{2} = 405,08 \text{ kN} \quad (81)$$

A Tabela 15 apresenta os valores para menor carga de pilar do cálculo da capacidade de carga e carga admissível para todas as camadas de solo pelo método David Cabral (1986). O pilar utilizado para menor carga foi o P09. As células em negrito indicam que a carga admissível da fundação é compatível com a carga do pilar naquela camada.

O diâmetro utilizado para o cálculo foi de trinta centímetros. Observando a Tabela 15 percebe-se que a carga admissível da fundação é adequada à carga do pilar, a três metros de profundidade e também nas camadas seguintes. Então, assim como no método Décourt-Quaresma (1978), optou-se por fazer a estaca com três metros de comprimento, valor mínimo para ser considerada fundação profunda.

Tabela 15 – Capacidade de carga e carga admissível David Cabral para pilar de menor carga

| Diâmetro estaca: 30 cm | | | David-Cabral | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--------|-------------|
| Prof. [m] | SPT | Solo | ρ | β_0 | β_1 | β_2 | R_p [kN] | R_l [kN] | R [kN] | R/FS [kN] |
| 1 | 18 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 267 | 83 | 350 | 175 |
| 2 | 31 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 460 | 226 | 686 | 343 |
| 3 | 30 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 445 | 365 | 810 | 405 |
| 4 | 32 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 475 | 513 | 988 | 494 |
| 5 | 23 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 114 | 588 | 702 | 351 |
| 6 | 4 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 20 | 602 | 621 | 311 |
| 7 | 6 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 30 | 621 | 651 | 326 |
| 8 | 11 | Argila | 0 | 70 | 7% | 3 | 163 | 672 | 836 | 418 |
| 9 | 26 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 386 | 792 | 1178 | 589 |
| 10 | 30 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 445 | 931 | 1376 | 688 |
| 11 | 30 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 445 | 1069 | 1515 | 757 |
| 12 | 40 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 594 | 1254 | 1848 | 924 |
| 13 | 42 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 623 | 1448 | 2072 | 1036 |
| 14 | 33 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 490 | 1601 | 2090 | 1045 |
| 15 | 3 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 15 | 1610 | 1625 | 813 |
| 16 | 10 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 49 | 1643 | 1693 | 846 |
| 17 | 6 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 30 | 1663 | 1693 | 846 |
| 18 | 7 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 35 | 1686 | 1721 | 860 |
| 19 | 7 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 35 | 1709 | 1744 | 872 |
| 20 | 6 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 30 | 1729 | 1759 | 879 |
| 21 | 11 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 54 | 1765 | 1820 | 910 |
| 22 | 9 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 45 | 1795 | 1840 | 920 |
| 23 | 8 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 40 | 1822 | 1861 | 931 |
| 24 | 8 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 40 | 1848 | 1888 | 944 |
| 25 | 10 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 49 | 1881 | 1930 | 965 |
| 26 | 8 | Argila | 0 | 70 | 5% | 1 | 40 | 1907 | 1947 | 973 |
| 27 | 4 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 59 | 1926 | 1985 | 993 |
| 28 | 4 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 59 | 1944 | 2004 | 1002 |
| 29 | 5 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 74 | 1967 | 2042 | 1021 |
| 30 | 5 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 74 | 1990 | 2065 | 1032 |
| 31 | 5 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 74 | 2014 | 2088 | 1044 |
| 32 | 4 | Areia | 0 | 70 | 7% | 3 | 59 | 2032 | 2091 | 1046 |
| 33 | 4 | Silte arenoso | 0 | 70 | 5% | 1,8 | 36 | 2045 | 2081 | 1040 |
| 34 | 4 | Silte arenoso | 0 | 70 | 5% | 1,8 | 36 | 2058 | 2094 | 1047 |
| 34,45 | Limite sondagem | | | | | | | | | |

Fonte: Autora (2022).

A Tabela 16 apresenta o resumo dos resultados da maior e menor carga para estaca raiz e hélice contínua.

Tabela 16 – Resultados

| Menor carga - 30 cm | | | | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Estaca | | Aoki-Velloso (1975) | Décourt-Quaresma (1978) | David Cabral (1986) |
| Hélice contínua | Carga admissível [kN] | 747,62 | 357,33 | - |
| | Profundidade [m] | 9 | 4 | - |
| Estaca Raiz | Carga admissível [kN] | 747,62 | 428,56 | 405,08 |
| | Profundidade [m] | 9 | 3 | 3 |
| Maior carga - 90 cm | | | | |
| Estaca | | Aoki-Velloso (1975) | Décourt-Quaresma (1978) | David Cabral (1986) |
| Hélice contínua | Carga admissível [kN] | 4999,61 | 3696,29 | - |
| | Profundidade [m] | 9 | 24 | - |
| Estaca Raiz | Carga admissível [kN] | - | - | - |
| | Profundidade [m] | - | - | - |

Fonte: Autora (2022).

5.3 Orçamentação

A partir da Tabela 16 realizou-se o orçamento no software PLEO, o qual é ilustrado na Figura 8. A data referencial dos preços dos insumos do SINAPI é de maio de 2021. Para este orçamento utilizou-se diâmetro de 31 cm para estaca raiz, pois o SINAPI não possui composição para 30 cm.

Figura 8 – Orçamento no PLEO

| DESCRIÇÃO | QTD. | UN | MATERIAL | MÃO DE OBRA | MAT. COTADO | M.O. COTADA | PREÇO C/BDI |
|--|-------|----|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. FUNDAÇÃO E ESTRUTURA | | | | | | | |
| 1.1. ESTACAS | | | | | | | |
| 1.1.1. MENOR CARGA | | | | | | | |
| 1.1.1.1. AOKI-VELLOSO (1975) | | | | | | | |
| 100651 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=40MPA E ARM | 9,00 | M | 121,97 | 15,78 | 0,00 | 0,00 | 1.239,75 |
| 96161 ESTACA RAZ, DIÂMETRO DE 31 CM, COMPRIMENTO DE ATÉ 10 M, SEM PRESEÇA DE RO | 9,00 | M | 391,97 | 108,05 | 0,00 | 0,00 | 4.500,18 |
| 1.1.1.2. DÉCOURT-QUIARESMA (1978) | | | | | | | |
| 100651 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARM | 4,00 | M | 121,97 | 15,78 | 0,00 | 0,00 | 551,00 |
| 96161 ESTACA RAZ, DIÂMETRO DE 31 CM, COMPRIMENTO DE ATÉ 10 M, SEM PRESEÇA DE RO | 3,00 | M | 391,97 | 108,05 | 0,00 | 0,00 | 1.500,06 |
| 1.1.1.3. DAVID CABRAL (1986) | | | | | | | |
| 96161 ESTACA RAZ, DIÂMETRO DE 31 CM, COMPRIMENTO DE ATÉ 10 M, SEM PRESEÇA DE RO | 3,00 | M | 391,97 | 108,05 | 0,00 | 0,00 | 1.500,06 |
| 1.1.2. MAIOR CARGA | | | | | | | |
| 1.1.2.1. AOKI-VELLOSO (1975) | | | | | | | |
| 100655 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 90 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARM | 9,00 | M | 658,23 | 30,33 | 0,00 | 0,00 | 6.197,04 |
| 1.1.2.2. DÉCOURT-QUIARESMA (1978) | | | | | | | |
| 100655 ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 90 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARM | 24,00 | M | 658,23 | 30,33 | 0,00 | 0,00 | 16.526,44 |

| Grupo 1. FUNDAÇÃO E ESTRUTURA | | | | 29.186,75 | 2.826,78 | 0,00 | 0,00 | 32.013,53 |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---|------|-----------|
| Custo: 25.080,91 | Preço: 32.013,53 | Mat. Custo: 22.866,40 | Mat. Preço: 29.186,75 | M.O. Custo: 2.214,51 | M.O. Preço: 2.826,78 | Acesse Configurações para ativar o Windows. | | |

Fonte: Autora (2022).

Para organizar o orçamento no PLEO criou-se um grupo para menor carga aplicada e para maior carga; dentro de cada grupo formou-se subgrupos para cada método de cálculo, a partir disto, inseriu-se os códigos dos serviços. Para gerar o preço de cada serviço, o software pede para que seja inserida uma quantidade, como mostra a Figura 9, neste caso, a quantidade é o comprimento da estaca.

Para cada serviço inserido, o PLEO traz os valores da mão de obra e do material para uma unidade de serviço, cujo somatório multiplicado pela quantidade resulta no valor final. O software disponibiliza três opções de resultados, custo com ou sem encargos e preço com BDI.

Figura 9 – Criação de serviços

PLEO - Orçamento - Inclui Serviço - DATA REFERENCIAL PREÇOS INSUMOS SINAPI: 14/05/2021

Serviço: ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DESMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019

Unidade: M

| Valor do Serviço | Valor Material | Valor Mão de Obra | Quantidade | BDI Mat (%) | BDI Mao (%) | TOTAL |
|------------------|----------------|-------------------|------------|-------------|-------------|--------|
| 107,92 | 95,56 | 12,36 | 1,00 | 27,64 | 27,64 | 137,75 |

Pesquisa: 100651

Código Contendo Iniciando por

| Serviços | Componentes | CÓDIGO | COMPOSIÇÃO | UN. |
|----------|-------------|--------|--|-----|
| | | 100651 | ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, DIÂMETRO DE 30 CM, INCLUSO CONCRETO FCK=30MPA E ARMADURA MÍNIMA (EXCLUSIVE MOBILIZAÇÃO, DE SMOBILIZAÇÃO E BOMBEAMENTO). AF_12/2019 | M |

Incluir Cancelar

Fonte: Autora (2022).

A partir do lançamento dos serviços no PLEO, elaborou-se a Tabela 17, com intuito de ilustrar melhor os resultados obtidos para o orçamento. O preço final expresso na tabela é o valor com BDI.

Tabela 17 – Resumo orçamento

| Menor carga - 30 cm | | | | |
|---------------------|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Estaca | | Aoki-Velloso (1975) | Décourt-Quaresma (1978) | David Cabral (1986) |
| Hélice contínua | Profundidade [m] | 9,00 | 4,00 | - |
| | Valor | R\$1.239,75 | R\$551,00 | - |
| Estaca Raiz | Profundidade [m] | 9,00 | 3,00 | 3,00 |
| | Valor | R\$4.500,18 | R\$1.500,06 | R\$1.500,06 |
| Maior carga - 90 cm | | | | |
| Estaca | | Aoki-Velloso (1975) | Décourt-Quaresma (1978) | David Cabral (1986) |
| Hélice contínua | Profundidade [m] | 9,00 | 24,00 | - |
| | Valor | R\$6.197,04 | R\$16.525,44 | - |
| Estaca Raiz | Profundidade [m] | - | - | - |
| | Valor | - | - | - |

Fonte: Autora (2022).

5.4 Análise e Discussão dos Resultados

Com base nos resultados apresentados na Tabela 16 e analisando-se os métodos para determinar a capacidade de carga para estaca hélice contínua para a menor carga aplicada, no método Aoki-Velloso (1975) percebe-se que o valor de K e o coeficiente α sofrem alteração para cada tipo de solo, além disto, este método ainda traz fator de correção para a resistência de ponta e de atrito lateral. Já no método Décourt-Quaresma (1978), apesar do valor de C alterar conforme o tipo de solo, os coeficientes α e β , para hélice contínua, permanecem os mesmos. Portanto, esta pode ser uma justificativa para a estaca hélice contínua calculada pelo método Décourt-Quaresma (1978) possuir menor comprimento para este banco de dados.

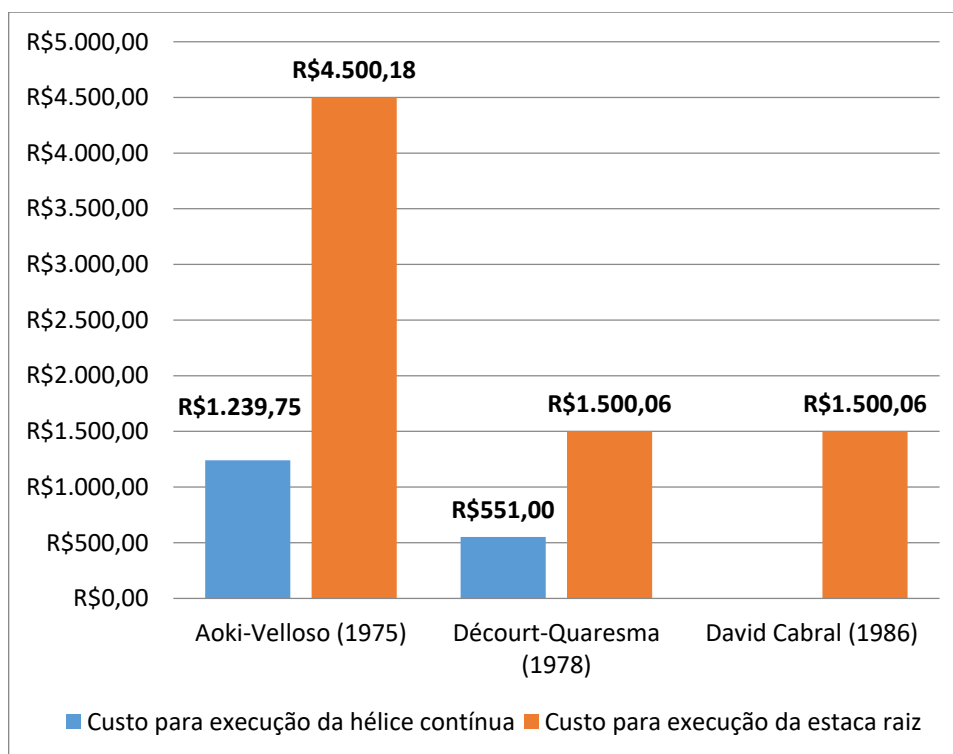
A partir da análise da Tabela 16 e dos métodos para determinar a capacidade de carga para estaca raiz para a menor carga aplicada, o método Aoki-Velloso (1975) não traz diferença para estaca raiz e hélice contínua; já Décourt-Quaresma (1978), apesar do coeficiente β para estaca raiz permanecer o mesmo para todos os tipos de solo, o valor de C e o coeficiente α alterarem; no método David Cabral (1986) por mais que os coeficientes β_1 e β_2 variem conforme o tipo de solo, o método foi desenvolvido especificamente para este tipo de estaca. Sendo

assim, estes motivos podem ter levado à estaca raiz possuir maior profundidade no método Aoki-Velloso (1975), para este estudo de caso.

Analisando-se a diferença do cálculo da carga admissível para os métodos Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), a Tabela 10 e a Tabela 12, percebe-se que o provável motivo da discrepância do resultado da profundidade das fundações com maior carga vertical aplicada entre os dois métodos é devido ao fato do Décourt-Quaresma (1978) dividir a resistência de ponta por 4, a do fuste por 1,3 e depois somando-as, assim, ele reduz muito a parcela de resistência de ponta; já Aoki-Velloso (1975) soma os valores da resistência de ponta e do fuste e divide por dois.

O Gráfico 1 apresenta os valores para execução da estaca hélice contínua e estaca raiz, com menor carga aplicada, para os métodos Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986).

Gráfico 1 – Orçamento para menor carga vertical aplicada



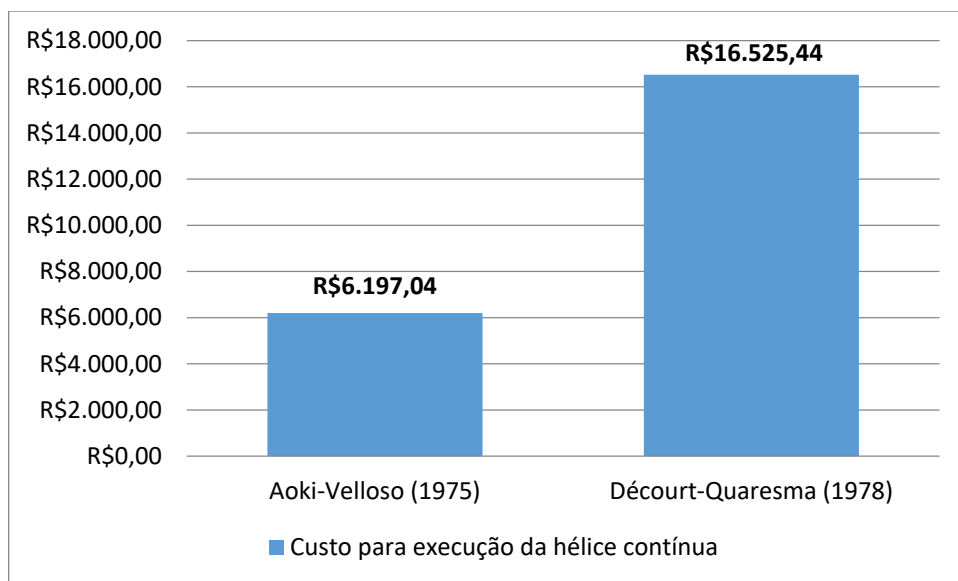
Fonte: Autora (2022).

A partir da análise do gráfico acima, percebe-se que para o método Aoki-Velloso (1975) a diferença no custo de execução da hélice contínua para estaca raiz é de 262,99%; já para o método Décourt-Quaresma (1978) a diferença é de 172,24%. Nota-se, também, que a diferença de valores entre o método Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Velloso (1975) para a execução da hélice é de 125%; já para a execução da estaca raiz é de 200%.

As diferenças de valores para hélice contínua entre os métodos se dá porque a fundação, pelo método Aoki-Velloso (1975), atinge carga admissível compatível com a carga aplicada pelo pilar a partir de nove metros de profundidade, já Décourt-Quaresma (1978) atinge a quatro metros. Já para a estaca raiz, os valores diferem devido à fundação calculada pelo método Aoki-Velloso (1975) ter nove metros de profundidade e pelos métodos Décourt-Quaresma (1978) e David Cabral (1986) ter três metros.

O Gráfico 2 apresenta os valores para execução da estaca hélice contínua, com maior carga aplicada, para os métodos Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

Gráfico 2 – Orçamento para maior carga vertical aplicada



Fonte: Autora (2022).

Com base na análise do gráfico acima, percebe-se que a diferença de valores entre o método Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) para a execução da hélice é de 166,67%; isto ocorre devido à fundação obter carga admissível compatível com a carga aplicada a nove metros de profundidade pelo método Aoki-velloso, já pelo método Décourt-Quaresma (1978) a vinte e quatro metros, resultando numa estaca mais profunda.

Diante dos dados apresentados, percebeu-se que a fundação do tipo hélice contínua possui uma melhor viabilidade econômica, pois a diferença pelo método Aoki-Velloso (1975), para menor carga vertical aplicada, é de R\$3.260,43 em relação à estaca raiz e pelo método Décourt-Quaresma (1978) é de R\$949,06.

Outro ponto a ser estudado é a viabilidade técnica, analisando-se os critérios apresentados no item 4.5 do capítulo 4 – método de pesquisa; a hélice

contínua possui tempo de execução menor, pois a sua produtividade é maior em relação à estaca raiz; como a hélice contínua é uma das estacas mais executadas na região de Florianópolis, é mais fácil de encontrar mão de obra própria especializada na execução deste tipo de estaca em relação à estaca raiz; este fato faz com que seja mais comum encontrar equipamentos disponíveis para execução da hélice contínua em relação à estaca raiz. Considerando os argumentos apresentados e como o terreno não possui rochas, a estaca do tipo hélice contínua se torna mais adequada para a obra em análise.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base teórica sobre fundações e métodos de cálculo para determinar a capacidade de carga e carga admissível, este trabalho apresentou o pré-dimensionamento para estaca raiz e hélice contínua, com intuito de fazer uma análise técnica e econômica.

A partir dos resultados apresentados, percebe-se que é de suma importância um estudo comparativo entre fundações e métodos de cálculo; como a fundação é o elemento que transmite as cargas da superestrutura para o solo, é necessário estudar este solo para poder determinar a capacidade de carga e carga admissível da fundação e após isto, conseguir determinar qual tipo de estrutura é mais adequada para aquele terreno.

Outro ponto importante de se realizar um estudo comparativo é o custo que aquela etapa impactará no orçamento da obra; pelos resultados apresentados neste trabalho, percebe-se que a estaca hélice contínua possui viabilidade econômica muito maior que a estaca raiz; também é possível perceber que até a escolha do método de cálculo pode gerar um grande impacto no orçamento.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para futuros trabalhos fazer análise técnica e econômica entre: estaca hélice contínua e estaca metálica, estaca metálica e pré-moldada ou um tipo de fundação profunda e uma rasa.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações** Rio de Janeiro: 2019. p. 1–108.

ABNT. **NBR 6484 - SOLO — SONDAÇÃO DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT — MÉTODO DE ENSAIO**. Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água —. 2020. p. 1–32.

ABNT. **NBR 8036 - PROGRAMAÇÃO DE SONDAÇÕES DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLOS PARA FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS - PROCEDIMENTO** 1983. p. 3.

ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. **ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 1. ed. [S. l.]: LTC, 2020.

AVILA, Matheus Almeida. **Estaca Raiz: O Que é? Quando utilizar? Dimensionamento, Execução e mais**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/estaca-raiz/>. Acesso em: 5 ago. 2021.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=I461DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA2&dq=fundações+construção+civil&ots=jDOLaFT8U9&sig=PawVpF0JGsxhEqJn39DdcT2L9eY#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 21 jul. 2021.

CARBONI, Leonardo Augusto. **COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA PARA CÁLCULO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS - ESTUDO DE CASO EM JURERÊ/FLORIANÓPOLIS - SC**. 1–136 f. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, 2021.

CARVALHO, Michele; MARCHIORI, Fernanda Fernandes. **Conhecendo o Orçamento de Obras**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2019.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por Estacas Projeto Geotécnico**. [S. l.: s. n.], 2010.

DANZIGER, BERNADETE RAGONI. **Fundações em Estacas**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

DORNELES, Juliana Bonacorso. **Orçamento de Obras - Custo indireto**. [S. l.: s. n.], 2021.

FREDERICO FALCONI; CELSO N. CORRÊA, CELSO ORLANDO, CRISTINA SCHIMDT, WILLIAM R. ANTUNES, PAULO J. ALBUQUERQUE, WALDEMAR HACHICH, Susumu Niyama. **FUNDAÇÕES**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

IBGE. **SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. [S.l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 9 fev. 2022.

JESUS, Amanda Delattre de. **ANÁLISE DE MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS PARA PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS**

RAIZ. 1–53 f. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, [s. l.], 2017.

LIMMER, CARL VICENTE. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras.** [S. l.]: LTC, 1997.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar Orçamentos de Obras.** [S. l.]: Pini, 2006. *E-book*.

MELO, LEONEL DE SIQUEIRA. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO/ECONÔMICA ENTRE FUNDAÇÕES PROFUNDAS: estudo de caso entre estaca pré-moldada em concreto armado e tipo hélice contínua em um galpão industrial.** 1–139 f. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, Varginha, 2018. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3%0Aht>

MONTEIRO, Tiago; ARAÚJO, Carla; AGUIAR, Marcos. Análise de métodos semi-empíricos nacionais e internacionais para determinação da capacidade de carga axial em estacas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 1–16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/23180730.2017.v38.2.7130>

MOURA, Alfran Sampaio; JÚNIOR, Antonio José Nóbrega; AGUIAR, Marcos Fábio Porto de. Análise de métodos semi-empíricos para o cálculo da capacidade de carga de estacas raiz de pequeno e grande diâmetro em obras de Fortaleza. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 31, n. 1, p. 56–72, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5020/23180730.ANO.PI>

OLIVEIRA, BRUNO BENETON DE. **ESTUDO COMPARATIVO DE VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA FUNDAÇÕES PROFUNDAS: Estudo de caso para edifício residencial multifamiliar na cidade de Três Corações.** 1–89 f. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, Varginha, 2017.

PEREIRA, Caio. **Tipos de Sondagem de Solo.** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

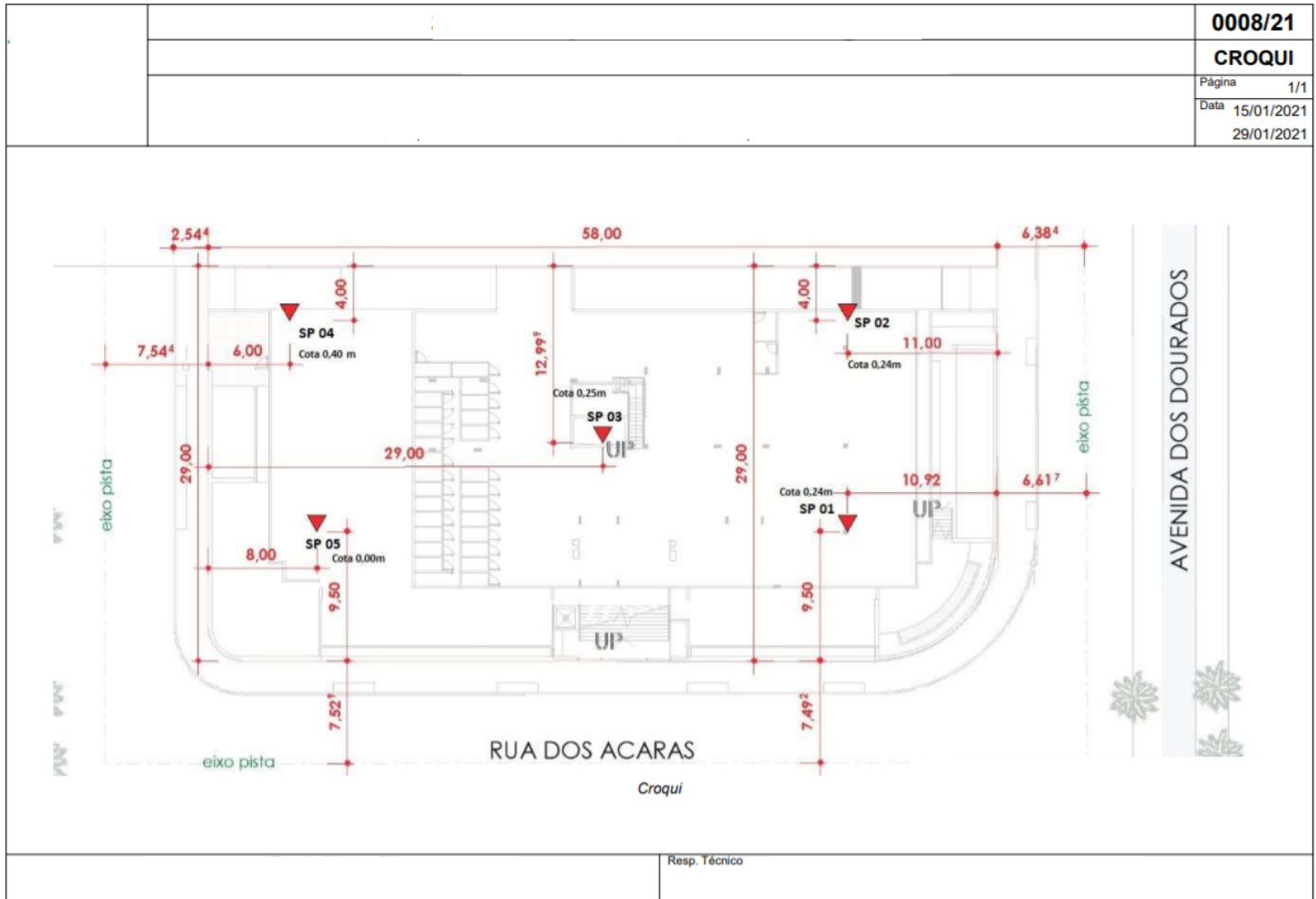
SANTOS, Glaci Trivisan. **Integração de informações pedológicas geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo em obras.** 231 f. 1997. Tese Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/111802>. Acesso em: 29 mar. 2022.

STEIL, Márcia Maria Machado. **Contribuição ao estudo dos métodos de capacidade de carga e de cálculo de recalque para fundações por estacas raiz.** 1–101 f. 2004. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, [s. l.], 2004. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/86845>

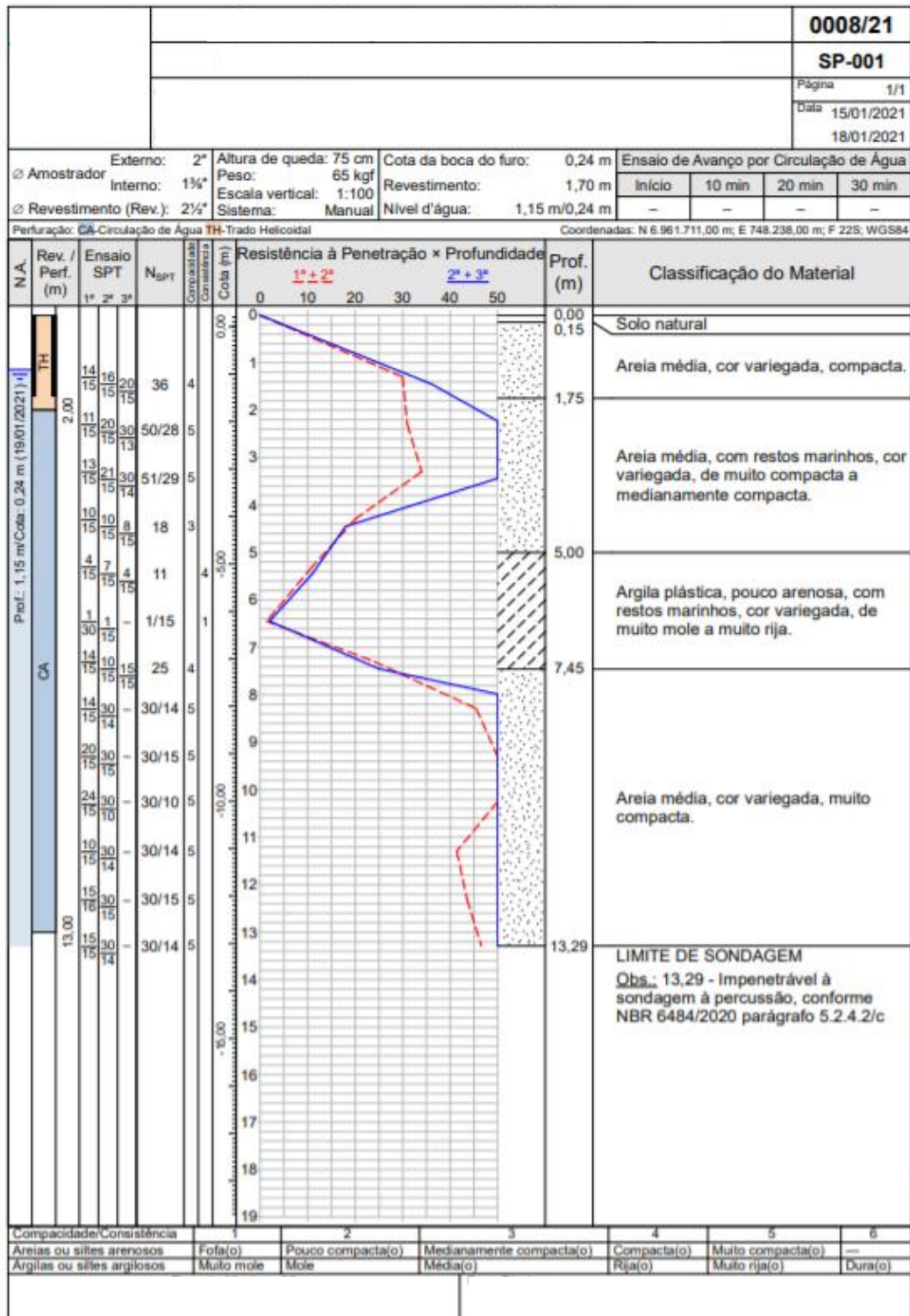
VELLOSO, Dirceu De Alencar; LOPES, Francisco De Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. v. completo *E-book*.

ANEXOS

ANEXO A – Planta de localização dos furos



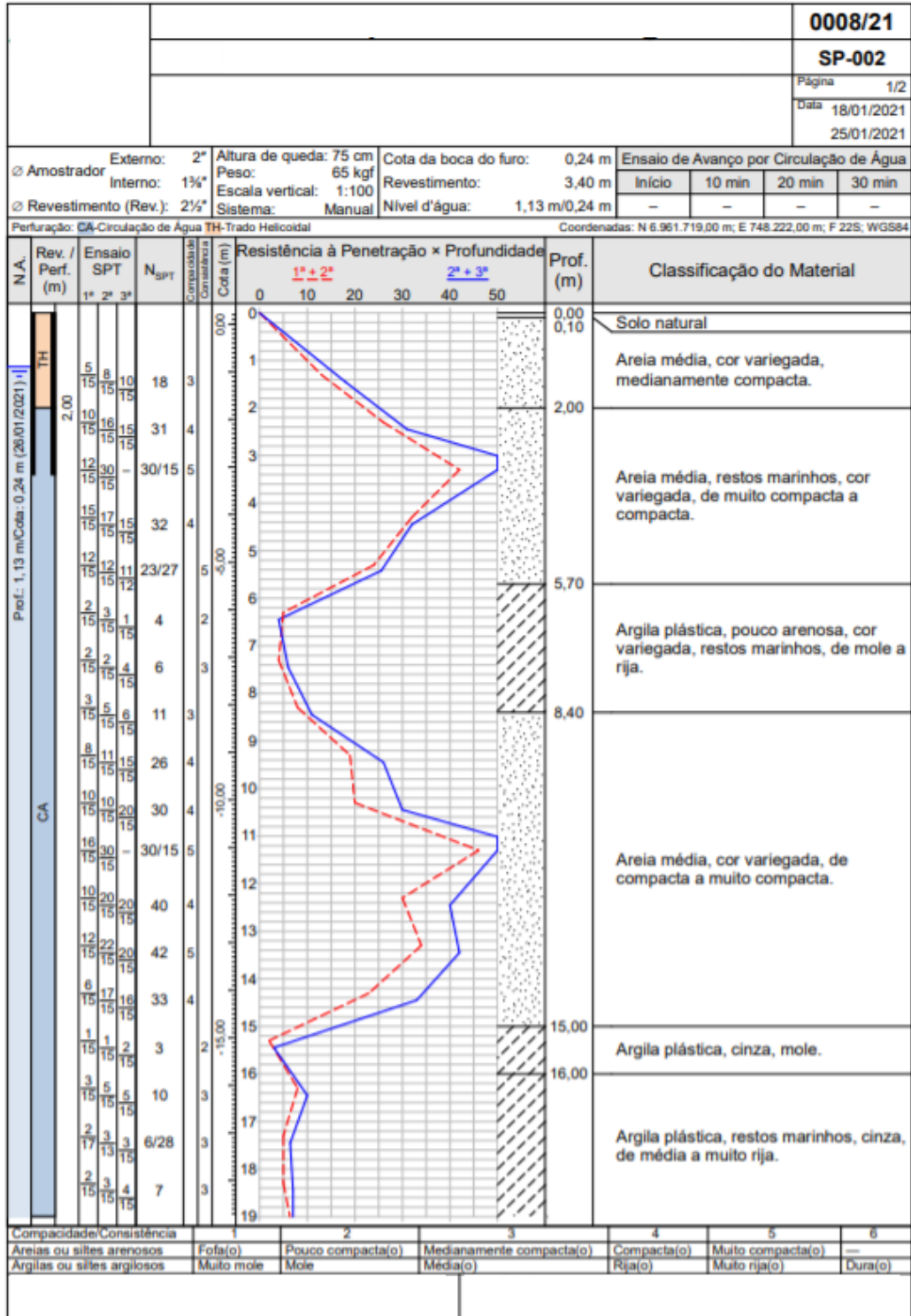
ANEXO B – SP - 001

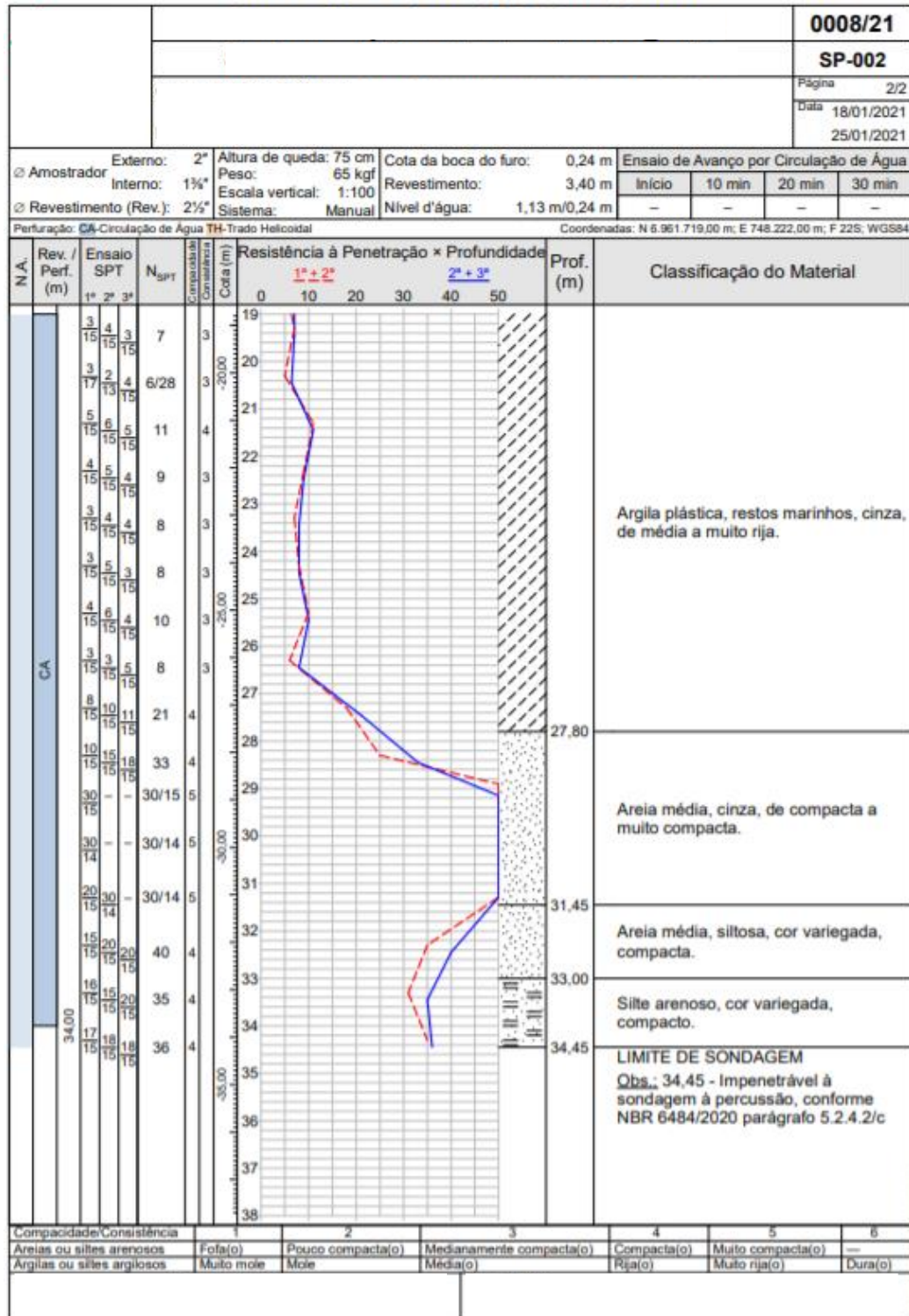


CONFORME NBR 6484/2020

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|--------------------------|-------------|------------------------------|----------|---|-------------------------|---|---|--------|--------------------------|--------|---|---|---|---|---|---------------------------|---------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------------|-----|-----------------------------|------------|------|----------|---------|---------------|---------|
| | | | | | | | | | | SP-001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Página 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Data 15/01/2021 18/01/2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nível d'água Inicial: 1,15 m 15/01/2021 | | | | | Cota da boca do furo: 0,24 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estabilizado: Não medido | | | | | Revestimento: 1,70 m | | Início | | 10 min | | 20 min | | 30 min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Final: 1,15 m 19/01/2021 | | | | | | | - | | - | | - | | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.711,00 m; E 748.238,00 m; F 225; WGS84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amostra Perfuração | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | | N SPT | Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | 2ª | | | | | | | | 3ª | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 TH | - | - | - | - | - | - | - | 0,00 | Solo natural | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 TH | 1,00 | 1,45 | 14 15 | 16 15 | 20 15 | 36 | 4 | 0,15 | Areia média, cor variegada, compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 CA | 2,00 | 2,43 | 11 15 | 20 15 | 30 13 | 50 28 | 5 | 1,75 | Areia média, com restos marinhos, cor variegada, de muito compacta a medianamente compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 CA | 3,00 | 3,44 | 13 15 | 21 15 | 30 14 | 51 29 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 CA | 4,00 | 4,45 | 10 15 | 10 15 | 8 15 | 18 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 CA | 5,00 | 5,45 | 4 15 | 7 15 | 4 15 | 11 | 4 | 5,00 | Argila plástica, pouco arenosa, com restos marinhos, cor variegada, de muito mole a muito rija. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 CA | 6,00 | 6,45 | 1 30 | 1 15 | - | 1 15 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 CA | 7,00 | 7,45 | 14 15 | 10 15 | 15 15 | 25 | 4 | 7,45 | Areia média, cor variegada, muito compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 CA | 8,00 | 8,29 | 14 15 | 30 14 | - | 30 14 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 CA | 9,00 | 9,30 | 20 15 | 30 15 | 30 15 | - | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 CA | 10,00 | 10,25 | 24 15 | 30 10 | 30 10 | - | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 CA | 11,00 | 11,29 | 10 15 | 30 14 | 30 14 | - | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 CA | 12,00 | 12,31 | 15 16 | 30 15 | 30 15 | - | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 CA | 13,00 | 13,29 | 15 15 | 30 14 | 30 14 | - | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 13,29 | LIMITE DE SONDAGEM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obs.: 13,29 - Impenetrável à sondagem à percussão, conforme NBR 6484/2020 parágrafo 5.2.4.2/c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compacidade/Consistência</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Areias ou siltes arenosos</td> <td>Fofa(o)</td> <td>Pouco compacta(o)</td> <td>Medianamente compacta(o)</td> <td>Compacta(o)</td> <td>Muito compacta(o)</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Argilas ou siltes argilosos</td> <td>Muito mole</td> <td>Mole</td> <td>Média(o)</td> <td>Rija(o)</td> <td>Muito rija(o)</td> <td>Dura(o)</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | Compacidade/Consistência | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Areias ou siltes arenosos | Fofa(o) | Pouco compacta(o) | Medianamente compacta(o) | Compacta(o) | Muito compacta(o) | --- | Argilas ou siltes argilosos | Muito mole | Mole | Média(o) | Rija(o) | Muito rija(o) | Dura(o) |
| Compacidade/Consistência | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Areias ou siltes arenosos | Fofa(o) | Pouco compacta(o) | Medianamente compacta(o) | Compacta(o) | Muito compacta(o) | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Argilas ou siltes argilosos | Muito mole | Mole | Média(o) | Rija(o) | Muito rija(o) | Dura(o) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO C – SP - 002

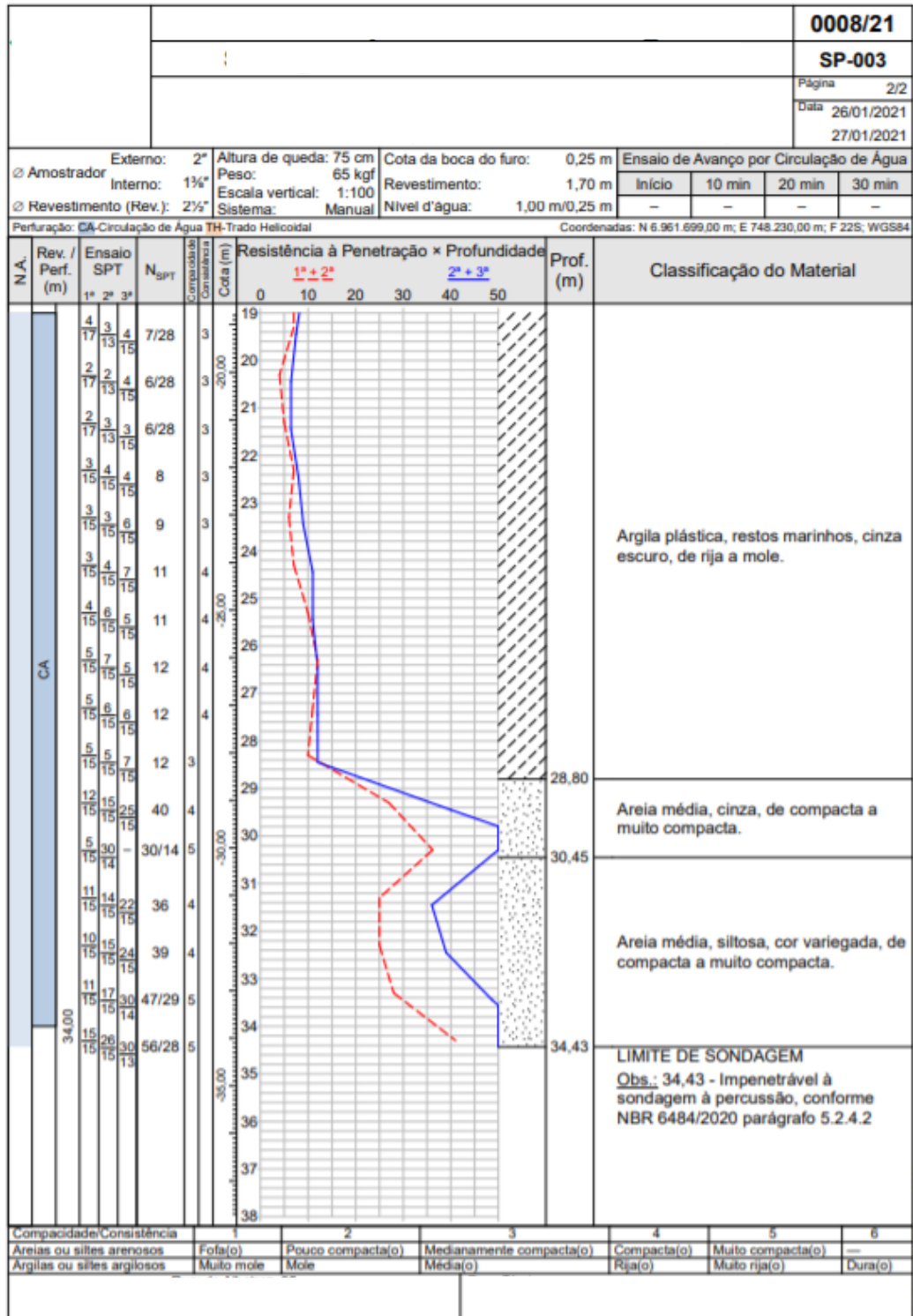




CONFORAE NBR 6484/2020

| | | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--|---|---------|--------|--------|--|--|
| | | | | | | | | | | | SP-002 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Página 1/2 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Data 18/01/2021 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 25/01/2021 | | | | | |
| Nível d'água | | | 1,13 m 18/01/2021 | | | Cota da boca do furo: | | 0,24 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | | | |
| Inicial: | | | 18/01/2021 | | | Revestimento: | | 3,40 m | | Início | | 10 min | 20 min | 30 min | | |
| Estabilizado: | | | Não medido | | | | | | | - | | - | - | - | | |
| Final: | | | 1,13 m 26/01/2021 | | | | | | | - | | - | - | - | | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.719,00 m; E 748.222,00 m; F 225; WGS84 | | | | | |
| Amostra | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | N | Compacidade/Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | 2ª | 3ª | SPT | | | | | |
| 01 | TH | - | - | - | - | - | - | 0,00 | Solo natural | | | | | | | |
| 02 | TH | 1,00 | 1,45 | 5/15 | 8/15 | 10/15 | 18 | 3 | 0,10 | Areia média, cor variegada, medianamente compacta. | | | | | | |
| 03 | CA | 2,00 | 2,45 | 10/15 | 16/15 | 15/15 | 31 | 4 | - | | | | | | | |
| 04 | CA | 3,00 | 3,30 | 12/15 | 30/15 | - | 30 | 5 | - | 2,00 | Areia média, restos marinhos, cor variegada, de muito compacta a compacta. | | | | | |
| 05 | CA | 4,00 | 4,45 | 15/15 | 17/15 | 15/15 | 32 | 4 | - | | | | | | | |
| 06 | CA | 5,00 | 5,42 | 12/15 | 12/15 | 11/12 | 23 | 5 | - | | | | | | | |
| 07 | CA | 6,00 | 6,45 | 2/15 | 3/15 | 1/15 | 4 | 2 | - | 5,70 | Argila plástica, pouco arenosa, cor variegada, restos marinhos, de mole a rija. | | | | | |
| 08 | CA | 7,00 | 7,45 | 2/15 | 2/15 | 4/15 | 6 | 3 | - | | | | | | | |
| 09 | CA | 8,00 | 8,45 | 3/15 | 5/15 | 6/15 | 11 | 3 | - | | | | | | | |
| 10 | CA | 9,00 | 9,45 | 8/15 | 11/15 | 15/15 | 26 | 4 | - | | | | | | | |
| 11 | CA | 10,00 | 10,45 | 10/15 | 10/15 | 20/15 | 30 | 4 | - | | | | | | | |
| 12 | CA | 11,00 | 11,30 | 16/15 | 30/15 | - | 30 | 5 | - | 8,40 | Areia média, cor variegada, de compacta a muito compacta. | | | | | |
| 13 | CA | 12,00 | 12,45 | 10/15 | 20/15 | 20/15 | 40 | 4 | - | | | | | | | |
| 14 | CA | 13,00 | 13,45 | 12/15 | 22/15 | 20/15 | 42 | 5 | - | | | | | | | |
| 15 | CA | 14,00 | 14,45 | 6/15 | 17/15 | 16/15 | 33 | 4 | - | | | | | | | |
| 16 | CA | 15,00 | 15,45 | 1/15 | 1/15 | 2/15 | 3 | 2 | - | 15,00 | Argila plástica, cinza, mole. | | | | | |
| 17 | CA | 16,00 | 16,45 | 3/15 | 5/15 | 5/15 | 10 | 3 | - | | | | | | | |
| 18 | CA | 17,00 | 17,45 | 2/17 | 3/13 | 3/15 | 6 | 3 | - | | | | | | | |
| 19 | CA | 18,00 | 18,45 | 2/15 | 3/15 | 4/15 | 7 | 3 | - | | | | | | | |
| 20 | CA | 19,00 | 19,45 | 3/15 | 4/15 | 3/15 | 7 | 3 | - | 16,00 | Argila plástica, restos marinhos, cinza, de média a muito rija. | | | | | |
| 21 | CA | 20,00 | 20,45 | 3/17 | 2/13 | 4/15 | 6 | 3 | - | | | | | | | |
| 22 | CA | 21,00 | 21,45 | 5/15 | 6/15 | 5/15 | 11 | 4 | - | | | | | | | |
| 23 | CA | 22,00 | 22,45 | 4/15 | 5/15 | 4/15 | 9 | 3 | - | | | | | | | |
| Compacidade/Consistência | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | | | |
| Areias ou siltes arenosos | | Fofa(o) | | Pouco compacta(o) | | Medianamente compacta(o) | | Compacta(o) | | Muito compacta(o) | | --- | | | | |
| Argilas ou siltes argilosos | | Muito mole | | Mole | | Média(o) | | Rija(o) | | Muito rija(o) | | Dura(o) | | | | |

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------|--------------------------|-------------------------|---|---|---|--------|---------|--------|-----|
| | | | | | | | | | | SP-002 | | | | |
| | | | | | | | | | | Página 2/2 | | | | |
| | | | | | | | | | | Data 18/01/2021 | | | | |
| | | | | | | | | | | 25/01/2021 | | | | |
| Nível d'água Inicial: | | | 1,13 m 18/01/2021 | | | Cota da boca do furo: | | 0,24 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | |
| Estabilizado: | | | Não medido | | | Revestimento: | | 3,40 m | | Início | 10 min | 20 min | 30 min | |
| Final: | | | 1,13 m 26/01/2021 | | | | | | | - | - | - | - | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.719,00 m; E 748.222,00 m; F 22S; WGS84 | | | | |
| Amostra | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | Compacidade/Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | | | | | | 2ª |
| 24 | CA 23,00 | 23,45 | 3 15 | 4 15 | 4 15 | 8 - 3 | 16,00 | Argila plástica, restos marinhos, cinza, de média a muito rija. | | | | | | |
| 25 | CA 24,00 | 24,45 | 3 15 | 5 15 | 3 15 | 8 - 3 | | | | | | | | |
| 26 | CA 25,00 | 25,45 | 4 15 | 6 15 | 4 15 | 10 - 3 | | | | | | | | |
| 27 | CA 26,00 | 26,45 | 3 15 | 3 15 | 5 15 | 8 - 3 | | | | | | | | |
| 28 | CA 27,00 | 27,45 | 8 15 | 10 15 | 11 15 | 21 4 - | 27,80 | Areia média, cinza, de compacta a muito compacta. | | | | | | |
| 29 | CA 28,00 | 28,45 | 10 15 | 15 15 | 18 15 | 33 4 - | | | | | | | | |
| 30 | CA 29,00 | 29,15 | 30 15 | - | - | 30 15 | | | | | | | | 5 - |
| 31 | CA 30,00 | 30,14 | 30 14 | - | - | 30 14 | | | | | | | | 5 - |
| 32 | CA 31,00 | 31,29 | 20 15 | 30 14 | - | 30 14 | 5 - | 31,45 | Areia média, silteosa, cor variegada, compacta. | | | | | |
| 33 | CA 32,00 | 32,45 | 15 15 | 20 15 | 20 15 | 40 4 - | | | | | | | | |
| 34 | CA 33,00 | 33,45 | 16 15 | 15 15 | 20 15 | 35 4 - | 33,00 | Silte arenoso, cor variegada, compacto. | | | | | | |
| 35 | CA 34,00 | 34,45 | 17 15 | 18 15 | 18 15 | 36 4 - | | | | | | | | |
| 34,45 | | | | | | | LIMITE DE SONDAGEM | | | | | | | |
| Obs.: 34,45 - Impenetrável à sondagem à percussão, conforme NBR 6484/2020 parágrafo 5.2.4.2/c | | | | | | | | | | | | | | |
| Compacidade/Consistência | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | |
| Areias ou siltes arenosos | | Fofa(o) | | Pouco compacta(o) | | Medianamente compacta(o) | | Compacta(o) | | Muito compacta(o) | | --- | | |
| Argilas ou siltes argilosos | | Muito mole | | Mole | | Média(o) | | Rija(o) | | Muito rija(o) | | Dura(o) | | |



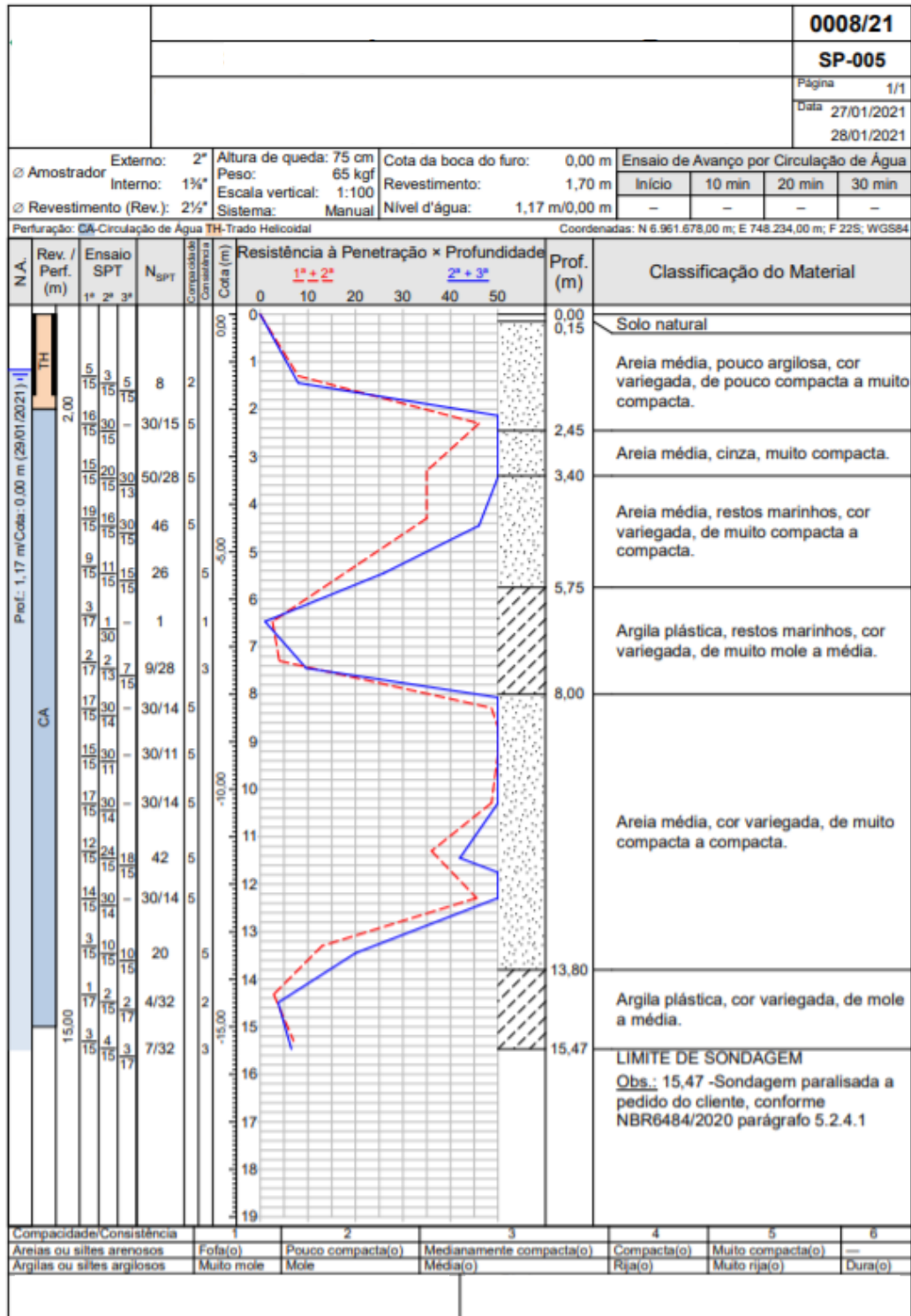
COORDENADOR: NBR 6484:2020

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------------|--------------|----------|-------------------------------|-------------------|---|--------------------------|---|---|--|-------------|----|--|-------------------|--|--|---------|--|--|
| | | | | | | | | | | SP-003 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Página 1/2 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Data 26/01/2021 27/01/2021 | | | | | | | | | | |
| Nível d'água Inicial: 0,70 m 26/01/2021 | | | | | Conta da boca do furo: 0,25 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | | | | | | | | | | |
| Estabilizado: Não medido | | | | | Revestimento: 1,70 m | | Início | 10 min | 20 min | 30 min | | | | | | | | | | |
| Final: 1,00 m 28/01/2021 | | | | | | | - | - | - | - | | | | | | | | | | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.699,00 m; E 748.230,00 m; F 22S; WGS84 | | | | | | | | | | |
| Amostra | Perfuração | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | Compacidade Consistência | Profundidade Chamada (m) | Classificação do Material | | | | | | | | | | | |
| | | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | | | 2ª | 3ª | | | | | | | |
| 01 | TH | - | - | - | - | - | - | 0,00 | Solo natural | | | | | | | | | | | |
| 02 | TH | 1,00 | 1,45 | 5 15 | 7 15 | 8 15 | 15 | 3 | 0,15 Areia média, cinza, de medianamente compacta a compacta. | | | | | | | | | | | |
| 03 | CA | 2,00 | 2,45 | 8 15 | 14 15 | 20 15 | 34 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 04 | CA | 3,00 | 3,45 | 14 15 | 15 15 | 16 15 | 31 | 4 | 3,40 Areia média, restos marinhos, cinza, de compacta a medianamente compacta. | | | | | | | | | | | |
| 05 | CA | 4,00 | 4,45 | 16 15 | 18 15 | 20 15 | 38 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 06 | CA | 5,00 | 5,45 | 10 17 | 8 13 | 5 15 | 13 28 | 4 | 5,50 Argila plástica, restos marinhos, cor variegada, de muito mole a muito rijá. | | | | | | | | | | | |
| 07 | CA | 6,00 | 6,50 | 1 30 | 1 20 | - | 1 20 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 08 | CA | 7,00 | 7,45 | 9 15 | 10 15 | 12 15 | 22 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 09 | CA | 8,00 | 8,30 | 16 15 | 30 15 | - | 30 15 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | CA | 9,00 | 9,30 | 14 15 | 30 15 | - | 30 15 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 11 | CA | 10,00 | 10,29 | 15 15 | 30 14 | - | 30 14 | 5 | 7,40 Areia média, cinza, de muito compacta a compacta. | | | | | | | | | | | |
| 12 | CA | 11,00 | 11,45 | 10 15 | 10 15 | 20 15 | 30 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | CA | 12,00 | 12,45 | 11 15 | 20 15 | 20 15 | 40 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | CA | 13,00 | 13,45 | 9 15 | 10 15 | 20 15 | 30 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | CA | 14,00 | 14,45 | 8 15 | 11 15 | 8 15 | 19 | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | CA | 15,00 | 15,45 | 2 17 | 2 13 | 3 15 | 5 28 | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 17 | CA | 16,00 | 16,45 | 3 15 | 5 15 | 4 15 | 9 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 18 | CA | 17,00 | 17,45 | 4 15 | 5 15 | 5 15 | 10 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | CA | 18,00 | 18,45 | 3 15 | 4 15 | 5 15 | 9 | 3 | 14,00 Argila plástica, restos marinhos, cinza escuro, de rijá a mole. | | | | | | | | | | | |
| 20 | CA | 19,00 | 19,45 | 4 17 | 3 13 | 4 15 | 7 28 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 21 | CA | 20,00 | 20,45 | 2 17 | 2 13 | 4 15 | 6 28 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 22 | CA | 21,00 | 21,45 | 2 17 | 3 13 | 3 15 | 6 28 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 23 | CA | 22,00 | 22,45 | 3 15 | 4 15 | 4 15 | 8 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| Compacidade/Consistência | | | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Areias ou siltes arenosos | | | Fofa(o) | | | Pouco compacta(o) | | | Medianamente compacta(o) | | | Compacta(o) | | | Muito compacta(o) | | | --- | | |
| Argilas ou siltes argilosos | | | Muito mole | | | Mole | | | Média(o) | | | Rija(o) | | | Muito rijá(o) | | | Dura(o) | | |

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | |
|---|------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------|--------------------------|-------------------------|---|--|---|--|---------|--------|--------|
| | | | | | | | | | | SP-003 | | | | |
| | | | | | | | | | | Página 2/2 | | | | |
| | | | | | | | | | | Data 26/01/2021 | | | | |
| | | | | | | | | | | 27/01/2021 | | | | |
| Nível d'água Inicial: | | | 0,70 m 26/01/2021 | | | Cota da boca do furo: | | 0,25 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | |
| Estabilizado: | | | Não medido | | | Revestimento: | | 1,70 m | | Início | | 10 min | 20 min | 30 min |
| Final: | | | 1,00 m 28/01/2021 | | | | | | | - | | - | - | - |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.699,00 m; E 748.230,00 m; F 22S; WGS84 | | | | |
| Amostra Perfuração | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | Compacidade Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | | | | | | 2ª |
| 24 CA | 23,00 | 23,45 | 3 15 | 3 15 | 6 15 | 9 - 3 | 14,00 | Argila plástica, restos marinhos, cinza escuro, de rija a mole. | | | | | | |
| 25 CA | 24,00 | 24,45 | 3 15 | 4 15 | 7 15 | 11 - 4 | | | | | | | | |
| 26 CA | 25,00 | 25,45 | 4 15 | 6 15 | 5 15 | 11 - 4 | | | | | | | | |
| 27 CA | 26,00 | 26,45 | 5 15 | 7 15 | 5 15 | 12 - 4 | | | | | | | | |
| 28 CA | 27,00 | 27,45 | 5 15 | 6 15 | 6 15 | 12 - 4 | | | | | | | | |
| 29 CA | 28,00 | 28,45 | 5 15 | 5 15 | 7 15 | 12 3 - | 28,80 | Areia média, cinza, de compacta a muito compacta. | | | | | | |
| 30 CA | 29,00 | 29,45 | 12 15 | 15 15 | 25 15 | 40 4 - | | | | | | | | |
| 31 CA | 30,00 | 30,29 | 5 15 | 30 14 | - 14 | 30 5 - | 30,45 | Areia média, siltsosa, cor variegada, de compacta a muito compacta. | | | | | | |
| 32 CA | 31,00 | 31,45 | 11 15 | 14 15 | 22 15 | 36 4 - | | | | | | | | |
| 33 CA | 32,00 | 32,45 | 10 15 | 15 15 | 24 15 | 39 4 - | | | | | | | | |
| 34 CA | 33,00 | 33,44 | 11 15 | 17 15 | 30 14 | 47 5 - | | | | | | | | |
| 35 CA | 34,00 | 34,43 | 15 15 | 26 15 | 30 13 | 56 5 - | | | | | | | | |
| 34,43 | | | | | | | LIMITE DE SONDAGEM | | | | | | | |
| Obs.: 34,43 - Impenetrável à sondagem à percussão, conforme NBR 6484/2020 parágrafo 5.2.4.2 | | | | | | | | | | | | | | |
| Compacidade/Consistência | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | |
| Areias ou sítes arenosos | | Fofa(o) | | Pouco compacta(o) | | Medianamente compacta(o) | | Compacta(o) | | Muito compacta(o) | | --- | | |
| Argilas ou sítes argilosos | | Muito mole | | Mole | | Média(o) | | Rija(o) | | Muito rija(o) | | Dura(o) | | |

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|---|----|---|--------|--------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|--------------------------|---------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------------|---|----------------------------|------------|------|----------|---------|---------------|---------|
| | | | | | | | | | | SP-004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Página 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | Data 28/01/2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 29/01/2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nível d'água Inicial: | | | 0,70 m 28/01/2021 | | | Cota da boca do furo: | | 0,40 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estabilizado: | | | Ausente -/- | | | Revestimento: | | 3,40 m | | Início | 10 min | 20 min | 30 min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Final: | | | 1,00 m 29/01/2021 | | | | | | | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.677,00 m; E 748.217,00 m; F 22S; WGS84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Amostra Perfuração | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | Compacidade/Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | 2ª | 3ª | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 TH | - | - | - | - | - | - | 0,00 | Solo natural | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 TH | 1,00 | 1,45 | 1 15 | 3 15 | 2 15 | 5 2 | - | 0,17 Areia média, cor variegada, de pouco compacta a muito compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 03 CA | 2,00 | 2,45 | 12 15 | 12 15 | 17 15 | 29 4 | - | 3,45 Areia média, restos marinhos, cinza, de muito compacta a compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 04 CA | 3,00 | 3,44 | 16 15 | 18 15 | 30 14 | 48 29 | 5 | 5,80 Argila plástica, restos marinhos, cor variegada, de muito mole a dura. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 05 CA | 4,00 | 4,44 | 17 15 | 18 15 | 30 14 | 48 29 | 5 | 8,25 Areia média, cinza, de muito compacta a compacta. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 06 CA | 5,00 | 5,45 | 10 15 | 12 15 | 13 15 | 25 | - 5 | 13,70 Argila plástica, cor variegada, mole. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 07 CA | 6,00 | 6,50 | 2 15 | 1 15 | 1 20 | 2 35 | - 1 | 15,45 LIMITE DE SONDAGEM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 08 CA | 7,00 | 7,47 | 1 17 | 2 13 | 1 17 | 3 | - 2 | Obs.: 15,45 - Sondagem interrompida a pedido do cliente, conforme NBR 6484/2020 parágrafo 5.2.4.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 CA | 8,00 | 8,29 | 16 15 | 30 14 | - 14 | 30 5 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 CA | 9,00 | 9,44 | 12 15 | 18 15 | 30 14 | 48 29 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 CA | 10,00 | 10,45 | 14 15 | 20 15 | 25 15 | 45 5 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 CA | 11,00 | 11,29 | 15 15 | 30 14 | - 14 | 30 5 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 CA | 12,00 | 12,24 | 20 15 | 30 9 | - 9 | 30 5 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 CA | 13,00 | 13,45 | 10 15 | 10 15 | 20 15 | 30 | - 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 CA | 14,00 | 14,45 | 1 17 | 2 13 | 1 15 | 3 28 | - 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 CA | 15,00 | 15,45 | 3 15 | 2 15 | 2 15 | 4 | - 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compacidade/Consistência</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Areias ou sítes arenosos</td> <td>Fofa(o)</td> <td>Pouco compacta(o)</td> <td>Medianamente compacta(o)</td> <td>Compacta(o)</td> <td>Muito compacta(o)</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Argilas ou sítes argilosos</td> <td>Muito mole</td> <td>Mole</td> <td>Média(o)</td> <td>Rija(o)</td> <td>Muito rija(o)</td> <td>Dura(o)</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | | | Compacidade/Consistência | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Areias ou sítes arenosos | Fofa(o) | Pouco compacta(o) | Medianamente compacta(o) | Compacta(o) | Muito compacta(o) | — | Argilas ou sítes argilosos | Muito mole | Mole | Média(o) | Rija(o) | Muito rija(o) | Dura(o) |
| Compacidade/Consistência | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Areias ou sítes arenosos | Fofa(o) | Pouco compacta(o) | Medianamente compacta(o) | Compacta(o) | Muito compacta(o) | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Argilas ou sítes argilosos | Muito mole | Mole | Média(o) | Rija(o) | Muito rija(o) | Dura(o) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO F – SP - 005



CONFORME NBR 6484-2020

| | | | | | | | | | | 0008/21 | | | |
|---|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--|---|---|--------|---------|----|
| | | | | | | | | | | SP-005 | | | |
| | | | | | | | | | | Página 1/1 | | | |
| | | | | | | | | | | Data 27/01/2021 | | | |
| | | | | | | | | | | 28/01/2021 | | | |
| Nível d'água Inicial: | | 1,17 m 27/01/2021 | | | Cota da boca do furo: | | 0,00 m | | Ensaio de Avanço por Circulação de Água | | | | |
| Estabilizado: | | Não medido | | | Revestimento: | | 1,70 m | | Início | 10 min | 20 min | 30 min | |
| Final: | | 1,17 m 29/01/2021 | | | | | | | - | - | - | - | |
| Perfuração: CA-Circulação de Água TH-Trado Helicoidal | | | | | | | | | | Coordenadas: N 6.961.678,00 m; E 748.234,00 m; F 225; WGS84 | | | |
| Amostra Perfuração | Profundidade (m) | Golpes 15 cm | | | N SPT | Compacidade Consistência | Profundidade Camada (m) | Classificação do Material | | | | | |
| | | Inicial | N SPT | 1ª | | | | | | | | | 2ª |
| 01 TH | - | - | - | - | - | - | 0,00 | Solo natural | | | | | |
| 02 TH | 1,00 | 1,45 | $\frac{5}{15}$ | $\frac{3}{15}$ | $\frac{5}{15}$ | 8 | 2 | 0,15 Areia média, pouco argilosa, cor variegada, de pouco compacta a muito compacta. | | | | | |
| 03 CA | 2,00 | 2,30 | $\frac{16}{15}$ | $\frac{30}{15}$ | - | 30 | 5 | 2,45 Areia média, cinza, muito compacta. | | | | | |
| 04 CA | 3,00 | 3,43 | $\frac{15}{15}$ | $\frac{20}{15}$ | $\frac{30}{13}$ | 50 | 5 | 3,40 Areia média, restos marinhos, cor variegada, de muito compacta a compacta. | | | | | |
| 05 CA | 4,00 | 4,45 | $\frac{19}{15}$ | $\frac{16}{15}$ | $\frac{30}{15}$ | 46 | 5 | | | | | | |
| 06 CA | 5,00 | 5,45 | $\frac{9}{15}$ | $\frac{11}{15}$ | $\frac{15}{15}$ | 26 | - | 5,75 Argila plástica, restos marinhos, cor variegada, de muito mole a média. | | | | | |
| 07 CA | 6,00 | 6,47 | $\frac{3}{17}$ | $\frac{1}{30}$ | - | 1 | - | | | | | | |
| 08 CA | 7,00 | 7,45 | $\frac{2}{17}$ | $\frac{2}{13}$ | $\frac{7}{15}$ | 9 | - | | | | | | |
| 09 CA | 8,00 | 8,29 | $\frac{17}{15}$ | $\frac{30}{14}$ | - | 30 | 5 | | | | | | |
| 10 CA | 9,00 | 9,26 | $\frac{15}{15}$ | $\frac{30}{11}$ | - | 30 | 5 | 8,00 Areia média, cor variegada, de muito compacta a compacta. | | | | | |
| 11 CA | 10,00 | 10,29 | $\frac{17}{15}$ | $\frac{30}{14}$ | - | 30 | 5 | | | | | | |
| 12 CA | 11,00 | 11,45 | $\frac{12}{15}$ | $\frac{24}{15}$ | $\frac{18}{15}$ | 42 | 5 | | | | | | |
| 13 CA | 12,00 | 12,29 | $\frac{14}{15}$ | $\frac{30}{14}$ | - | 30 | 5 | | | | | | |
| 14 CA | 13,00 | 13,45 | $\frac{3}{15}$ | $\frac{10}{15}$ | $\frac{10}{15}$ | 20 | - | 13,80 Argila plástica, cor variegada, de mole a média. | | | | | |
| 15 CA | 14,00 | 14,49 | $\frac{1}{17}$ | $\frac{2}{15}$ | $\frac{2}{17}$ | 4 | - | | | | | | |
| 16 CA | 15,00 | 15,47 | $\frac{3}{15}$ | $\frac{4}{15}$ | $\frac{3}{17}$ | 7 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 15,47 | LIMITE DE SONDAGEM | | | | | |
| Obs.: 15,47 -Sondagem paralisada a pedido do cliente, conforme NBR6484/2020 parágrafo 5.2.4.1 | | | | | | | | | | | | | |
| Compacidade/Consistência | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| Areias ou siltes arenosos | | Fofa(o) | | Pouco compacta(o) | | Medianamente compacta(o) | | Compacta(o) | | Muito compacta(o) | | - | |
| Argilas ou siltes argilosos | | Muito mole | | Mole | | Média(o) | | Rija(o) | | Muito rija(o) | | Dura(o) | |

ANEXO G – Planta de locação dos pilares

