



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA TEREZA TEIXEIRA DOS SANTOS**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA DE  
ESTACAS ESCAVADAS EM UM PROJETO NA CIDADE DE  
TASSO FRAGOSO-MA**

**BALSAS-MA  
2022**

Ana Tereza Teixeira dos Santos

Análise comparativa da capacidade de carga de estacas escavadas em um projeto na cidade de Tasso Fragoso-MA

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Moises de Araújo Santos  
Jacinto

Balsas-MA  
2022

Seção de Informação e Referência  
Catalogação da Publicação na Fonte.

Santos, Ana Tereza Teixeira.

Análise comparativa da capacidade de carga de estacas escavadas em um projeto na cidade de Tasso Fragoso-MA, através dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira / Ana Tereza Teixeira dos Santos. - Balsas, 2022.

Orientador: Moises de Araújo Santos Jacinto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão – Campus de Balsas.

1. Ensaio SPT. 2. Fundações. 3. Estacas Escavadas. 4. Capacidade de Carga. I. Sales, Lindolfo Neto de Oliveira. II. Medeiros, Djalma Mariz. III. Título.

MA/UF/BO

Ana Tereza Teixeira dos Santos

Análise comparativa da capacidade de carga de estacas escavadas em um projeto na cidade de Tasso Fragoso-MA

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Aprovada em 14/12/2022:**

---

Prof. Me. Moises de Araújo Santos Jacinto – Orientador

---

Prof. Dr. Cláudio Luis de Araújo Neto – Examinador Interno

---

Prof. Me. Vinicius Farias de Albuquerque – Examinador Interno

Balsas-MA  
2022



Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me dado forças e me guiado em todos os momentos; à minha mãe, Valda Cleres; ao meu pai, João; à minha irmã, Ana Lya; à minha namorada, Sarah; e aos meus professores, Moises e Vinícius, que me ajudaram na conclusão do mesmo.

## **AGRADECIMENTOS**

“Ainda que minha mente e meu corpo enfraqueçam, Deus é minha força, Ele é tudo o que eu sempre preciso” (Salmos 73:26). A partir desse Salmo, agradeço primeiramente a Deus, meu Pai e Salvador, que me deu o dom da vida, a força e o conhecimento necessários para elaborar este trabalho e entrego a Ele todas as minhas batalhas e as minhas conquistas. Agradeço a Ele, também, por ter sido meu grande refúgio em dias turbulentos, quando a minha força e esperança estavam quase se esgotando.

À minha família por todo o apoio, todos os conselhos e toda a força dados a mim em momentos de fraqueza, de cansaço, de desespero, de ansiedade; por nunca desistirem ou me deixarem desistir dos meus sonhos e por estarem trilhando esse caminho comigo.

À Sarah e à Lara por ter sido fundamentais tanto na minha vida pessoal quanto na minha vida acadêmica, nunca me deixando cair ou desistir, dando-me apoio e enxugando as minhas lágrimas em todos os momentos em que eu mesma achei que não conseguiria.

Aos meus professores, Moises e Vinícius, pelas orientações, pela disponibilidade de me ajudar a conduzir este trabalho e pelo auxílio em cada etapa concluída.

A todos que contribuíram para esta conquista e, principalmente, para o meu crescimento pessoal e profissional, deixo aqui meus agradecimentos.

## RESUMO

A fundação é um dos elementos mais importantes da construção civil, cuja função é absorver os impactos, transportá-los e distribuí-los até o solo. A investigação de solo é uma parte indispensável para a concepção de um projeto, seja ele de pequeno, médio ou grande porte. Caracterizando o solo, a obra não sofrerá desperdícios de materiais, o que diminui o custo do empreendimento e assegura o desempenho do trabalho. Diante do exposto, o presente estudo objetivou-se em comparar a capacidade de carga através dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, de um projeto na cidade de Tasso Fragoso-MA a partir de três furos de sondagem a percussão (SPT) e avaliar os resultados buscando assumir qual dos métodos é o mais eficaz. Para tal, foi utilizado o relatório de sondagem SPT, fornecido pela empresa Y, como base para a realização dos cálculos da capacidade de carga de fundações. A partir dessa verificação e obtendo os valores de desvio padrão, foi constatado qual dos métodos utilizados foi o mais eficiente. A partir dos métodos semiempíricos, foi calculada a capacidade de carga das estacas escavadas. Por fim, a metodologia de Aoki-Velloso, por unanimidade, foi a mais ineficiente e a metodologia de Teixeira se tornou a mais eficiente. Os resultados da capacidade de carga obtidos são demonstrados detalhadamente em forma de gráficos e tabelas.

**Palavras-chave:** Fundação, Capacidade de carga, Métodos semiempíricos, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, Teixeira, Sondagem SPT.

## ABSTRACT

The foundation is one of the most important elements of civil construction, whose function is to absorb impacts, transport them and distribute them to the ground. Soil investigation is an indispensable part of designing a project, whether small, medium or large. Characterizing the soil, the work will not suffer waste of materials, which reduces the cost of the project and ensures the performance of the work. Given the above, the present study aimed to compare the load capacity through the semi-empirical methods of Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma and Teixeira, of a project in the city of Tasso Fragoso-MA from three percussion drilling holes (SPT) and evaluate the results seeking to assume which of the methods is the most effective. To this end, the SPT drilling report, provided by company Y, was used as a basis for carrying out the calculations of the load capacity of foundations. From this verification and obtaining the standard deviation values, it was verified which of the methods used was the most efficient. Based on semi-empirical methods, the load capacity of the excavated piles was calculated. Finally, the Aoki-Velloso methodology, unanimously, was the most inefficient and the Teixeira methodology became the most efficient. The load capacity results obtained are shown in detail in graphs and tables.

**Keywords:** Foundation, Load capacity, Semi-empirical methods, Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, Teixeira, SPT survey.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fundação superficial (a) e profunda (b).....	17
Figura 2 - Tipos de fundações superficiais.....	18
Figura 3 - Tipos de fundações profundas: (a) estaca; (b) tubulão; (c) caixão. ....	19
Figura 4 - Tipos de fundações mistas: (a) sapata associada à estaca (estaca T); (b) sapata associada à estaca com material compressível entre elas (estapata); (c) radier sobre estacas; e (d) radier sobre tubulões. ....	20
Figura 5 - Fluxograma do método de pesquisa. ....	27
Figura 6 - Mapa da cidade de Tasso Fragoso-MA. ....	28
Figura 7 - Planta de Situação do Ensaio SPT .....	29
Figura 8 - Execução da sondagem do SPT 01.....	31
Figura 9 - Execução da sondagem do SPT 02 .....	31
Figura 10 - Execução da sondagem do SPT 03 no dia 20/08/2021 .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos fatores de correção F1 e F2 atualizados.....	22
Tabela 2 - Valores de $\alpha$ e K. ....	23
Tabela 3 - Valores do coeficiente característico do solo C. ....	24
Tabela 4 - Valores dos coeficientes $\alpha$ e $\beta$ . ....	24
Tabela 5 - Valores do parâmetro $\alpha$ . ....	25
Tabela 6 – Valores do parâmetro $\beta$ (kPa) (Resistência Lateral).....	26
Tabela 7 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso .....	34
Tabela 8 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma .....	35
Tabela 9 - Capacidade de carga através do método de Teixeira .....	36
Tabela 10 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso .....	37
Tabela 11 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma .....	38
Tabela 12 - Capacidade de carga através do método de Teixeira .....	39
Tabela 13 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso .....	40
Tabela 14 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma .....	41
Tabela 15 - Capacidade de carga através do método de Teixeira .....	42
Tabela 16 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 01 .....	43
Tabela 17 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 02.....	45
Tabela 18 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 03.....	46
Tabela 19 - Análise do perfil do solo .....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Capacidade de Carga para o SPT 01 .....	44
Gráfico 2 - Capacidade de Carga para o SPT 02 .....	45
Gráfico 3 - Capacidade de Carga para o SPT 03 .....	47

## Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>15</b>
3	<b>OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
3.1	Objetivo Geral	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
4.1	Fundações	17
4.1.1	Fundações superficiais (rasas)	17
4.1.2	Fundações Profundas	19
4.2	Estudos do solo	20
4.2.1	Métodos de Sondagem	20
4.2.2	Método de Sondagem a Percussão (SPT)	21
4.2.3	Metodologia de Aoki-Velloso (1975)	21
4.2.4	Metodologia de Décourt-Quaresma (1978)	23
4.2.5	Metodologia de Teixeira (1996)	25
4.3	Fator de segurança	26
5	<b>METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
5.1	Localização	28
5.2	Ensaio SPT	29
5.3	Relatório Fotográfico	31
5.4	Cálculo da Capacidade de Carga	32
5.4.1	Planilha de Aoki-Velloso (1975)	32
5.4.2	Planilha de Décourt-Quaresma (1978)	32
5.4.3	Planilha de Teixeira (1996)	33
5.4.4	Gráfico de discrepância entre os métodos	33
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>34</b>
6.1	SPT 01	34
6.1.1	Método de Aoki-Velloso (1975)	34
6.1.2	Método de Décourt-Quaresma (1978)	35
6.1.3	Método de Teixeira (1996)	36



6.2	SPT 02	37
6.2.1	Método de Aoki-Velloso (1975)	37
6.2.2	Método de Décourt-Quaresma (1978)	38
6.2.3	Método de Teixeira (1996)	39
6.3	SPT 03	40
6.3.1	Método de Aoki-Velloso (1975)	40
6.3.2	Método de Décourt-Quaresma (1978)	41
6.3.3	Método de Teixeira (1996)	42
6.4	Análise e comparação das metodologias	43
6.4.1	Capacidade de Carga para o SPT 01	43
6.4.2	Capacidade de Carga para o SPT 02	44
6.4.3	Gráfico da Capacidade de Carga para o SPT 03	46
6.4.4	Escolha do método mais eficiente	48
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os princípios da vida humana, desejando proteger-se do clima e dos animais, o homem se abrigava em cavernas rochosas e, quando não as encontrava, em abrigos subterrâneos improvisados, onde estes eram escavações de aproximadamente 2 metros de profundidade. Isso prova como já existia, naquela época, uma noção sobre a estabilidade dos maciços, encontrada onde essas escavações eram realizadas (FALCONI et al., 2019).

Assim, ao longo do tempo, o método de desenvolvimento das fundações vem se aperfeiçoando cada vez mais, devido aos crescentes avanços tecnológicos e científicos. Um exemplo desses avanços é o grande desenvolvimento de métodos de investigação do solo, onde, diante disso, o homem foi aperfeiçoando, também, técnicas de estabilização de estruturas. Através dessas técnicas, surgiram as fundações, por causa das várias situações advindas de cada tipo de solo, que acabam por interferir em sua capacidade de suportar as cargas da estrutura (ARAÚJO et al., 2018).

No Brasil, as fundações são dimensionadas, em sua maior parte, a partir dos valores de SPT, pois, por ser um ensaio mais econômico, mais rápido e com mais eficiência, torna-se o melhor método de investigação geotécnica a ser utilizado para o estudo e a realização de uma fundação profunda, mesmo necessitando de análises complementares para melhorar ainda mais a sua eficiência no dimensionamento de estacas. Dentre todas as finalidades do ensaio SPT, uma das mais importantes é a de que esse ensaio consiste em obter a quantidade de golpes necessários para um amostrador padronizado penetrar 30 centímetros no solo (SILVA, 2016).

Dessa forma, pode-se afirmar que, em toda a obra, um dos elementos mais importantes é a fundação, pois sua função, na estrutura, é absorver todas as cargas solicitantes e transferi-las diretamente ao solo, mantendo-as fixas e niveladas ao terreno (MALLMANN, 2018). A partir disso, pode-se separar as fundações em dois grupos: fundações rasas ou superficiais (ou ainda “diretas”) e fundações profundas (VELLOSO; LOPES, 2011).

Depois de especificado os grupos de fundações, tem-se, então, o dimensionamento delas como um fator de grande importância em um projeto. Para isso, necessita-se não somente dos ensaios SPT, mas também de conhecimento da carga a ser suportada pela estrutura. Para isso, tem-se os métodos semiempíricos de cálculo de capacidade de carga, cuja definição é a de que são métodos capazes de estimar, com base em correlações, métodos teóricos e experimentos, as propriedades e capacidades de carga da estrutura de fundação. Ao utilizar esses métodos semiempíricos para determinar as tensões admissíveis, são também utilizadas algumas

estimativas referentes às propriedades do solo para a realização dos cálculos de capacidade de carga (PEREIRA, 2019).

Desse modo, os métodos semiempíricos foram desenvolvidos, inicialmente, com o objetivo de prever recalques em areias, devido à dificuldade em realizar ensaios e amostragens nesses materiais em laboratório, de forma que coincidissem com as condições de campo. Em seguida, eles passaram a ser aplicados em argilas parcialmente saturadas e, depois, a argilas em geral (VELLOSO; LOPES, 2011). Alguns desses métodos, baseados na sondagem SPT, são os métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira.

Sendo assim, a metodologia de Aoki-Velloso (1975) faz relação entre a resistência à penetração do cone no solo, obtida através do  $N_{SPT}$ , com a capacidade de carga final das estacas. Já a metodologia de Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996) relacionam diretamente o valor obtido de  $N_{SPT}$  com a capacidade de carga final das estacas (SILVA, 2016).

Entretanto, ainda que ambos os métodos forneçam valores para a capacidade de carga de fundações profundas que garantem a estabilidade e a segurança estrutural, é possível que, com a variação de parâmetros, um deles se torne mais favorável, gerando estacas mais seguras e econômicas que os outros métodos (MOREIRA, 2019).

Dentre todas as estacas, existem as escavadas sem lama betonítica, que são estacas moldadas *in loco*, cuja concretagem é realizada após escavação, onde esta pode ser feita através de sondas específicas para a retirada da terra, de perfuratrizes rotativas, de trados mecânicos ou de trados manuais. Estacas que são executadas dessa forma podem ser definidas como estacas do tipo Strauss, estacas com tubo de revestimento recuperável, estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal e estacas tipo broca, respectivamente (FALCONI et al., 2019).

Sendo assim, o presente trabalho, a partir dos dados obtidos em relatório de ensaios SPT, na cidade de Tasso Fragoso-MA, para a realização de estacas escavadas, pretende analisar e avaliar, através de planilhas eletrônicas no Excel, a eficiência dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira e, em seguida, eleger qual deles se mostrou mais eficiente para o cálculo da capacidade de carga de fundações.

## 2 JUSTIFICATIVA

A estimativa dos valores de resistência de um determinado solo, assim como as deformações que ele sofrerá devido ao carregamento de uma estrutura, são atualmente calculados através de vários métodos e ferramentas que, apesar da precisão, serão sempre estimativas, pois, devido à grande variabilidade do solo, as incertezas que a engenharia geotécnica trabalha fazem com que o profissional estime parâmetros de resistência baseados em um único ensaio, o SPT, mais utilizado no Brasil (NOGUCHI, 2012).

Entretanto, além do ensaio SPT, existem também outros métodos de investigação e sondagem do solo, como sondagem a trado, sondagem rotativa, sondagem mista, sondagem geofísica e sondagem CPT.

Como exemplo, tem-se a sondagem a percussão, que é um procedimento geotécnico de investigação de campo capaz de obter amostras do subsolo e, quando associada ao ensaio de penetração dinâmica (SPT), passa a medir a resistência do solo ao longo da profundidade em que ele é perfurado. Ao se realizar uma sondagem, pretende-se conhecer (FALCONI et al., 2019):

- a) o tipo de solo, obtido através da retirada de uma amostra de cada metro perfurado;
- b) a resistência do solo à cravação do amostrador padrão, a cada metro perfurado;
- c) a posição do nível (eis) d'água, caso sejam encontrados durante a perfuração.

Após o estudo o solo, passa-se para a etapa de dimensionamento da fundação e, para essa etapa, é de suma importância o conhecimento das cargas da estrutura (PEREIRA, 2019). Dessa forma, torna-se necessário o uso de métodos e estudos acerca do tema, para que sejam comparados e analisados, em busca de uma melhor aproximação do valor real. Para isso, há três métodos que serão utilizados para realizar essa comparação, sendo eles Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira. Deste modo, é importante destacar que, apesar de a metodologia comparativa garantir uma boa margem de segurança, nenhum método de avaliação de capacidade de carga garante total precisão.

Em resumo, através da análise de solo por sondagem (SPT), realizada na cidade de Tasso Fragoso e avaliada conforme a metodologia de Terzaghi & Peck (1948), o presente trabalho justifica-se por realizar a mesma análise através de outros três diferentes métodos para que seja feita uma comparação dos resultados obtidos e avaliar a escolha da fundação, bem como sua profundidade. Para isso, o trabalho busca responder o seguinte questionamento: Qual dos métodos citados é o mais viável? Qual apresenta a melhor resistência?

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Comparar a capacidade de carga através dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira em um projeto na cidade de Tasso Fragoso-MA a partir de três furos de sondagem a percussão (SPT).

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica acerca das diferentes condições geotécnicas dos solos, buscando fundamentar o ensaio de sondagem SPT, e da capacidade de carga em fundações profundas utilizando métodos semiempíricos para definir quais deles serão utilizados;
- Coletar e analisar um relatório contendo os dados do ensaio SPT em uma obra de fundações profundas realizada na cidade de Tasso Fragoso, no Maranhão, afim de utilizar seus dados para a realização do cálculo da capacidade de carga;
- Analisar a capacidade de carga das fundações, baseados nos ensaios de sondagem SPT, utilizando os métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira;
- Analisar cada um dos métodos afim de verificar a discrepância entre eles e definir qual é o mais eficaz para a realização do cálculo da capacidade de carga da fundação.

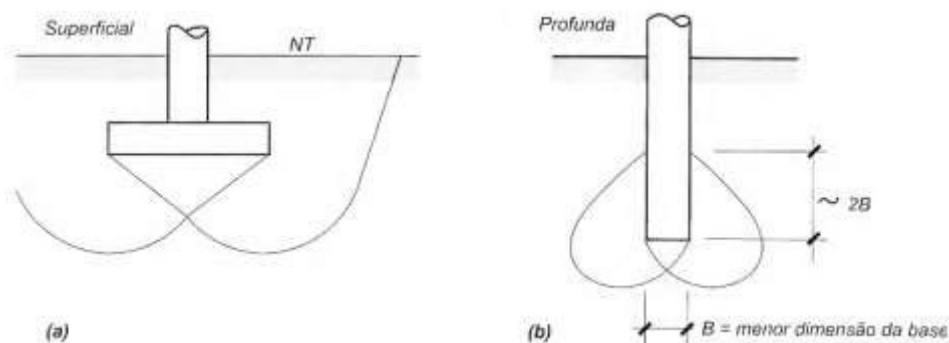
## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Fundações

Todas as edificações estão sujeitas às ações horizontais (vento e desaprumo), às ações gravitacionais permanentes, às ações gravitacionais acidentais, aos efeitos de temperatura e, em alguns casos, às ações excepcionais como sismos e choques. Os esforços internos provocados por estas ações produzem reações nos apoios, que são transmitidas ao solo por meio das fundações, sejam elas superficiais ou profundas. Quando o solo não apresenta condições de resistência nas camadas superficiais (até uma profundidade de dois metros), torna-se necessário que as fundações alcancem camadas profundas e tornem-se mais resistentes, que são as chamadas fundações profundas (FERREIRA et al., 2014).

Assim, as fundações são separadas em dois grandes grupos, sendo eles fundações superficiais (rasas) e fundações profundas, como demonstrado na Figura 1 (VELLOSO; LOPES, 2011).

Figura 1 - Fundação superficial (a) e profunda (b).



Fonte: (Velloso e Lopes, 2010).

#### 4.1.1 Fundações superficiais (rasas)

As fundações superficiais (ou rasas) são fundações sobrepostas ao solo a uma pequena profundidade. Dessa forma, para uma edificação com dois subsolos, uma fundação será considerada rasa mesmo que esteja apoiada a 7m abaixo do nível da rua (FALCONI et al., 2019).

Assim, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), as fundações rasas são elementos de fundação cujas bases estão fixadas em uma profundidade inferior a duas vezes o tamanho da

sua menor dimensão, onde receberá as tensões distribuídas que equilibram toda a carga que foi aplicada.

Diante disso, há vários tipos de fundações superficiais, conforme demonstrados na Figura 2. São elas: (VELLOSO E LOPES, 2010):

**Bloco** - elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de forma que as tensões de tração possam ser resistidas pelo concreto, sem a necessidade de armadura;

**Sapata** - elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração sejam resistidas pela armadura (por isso as sapatas têm menor altura que os blocos);

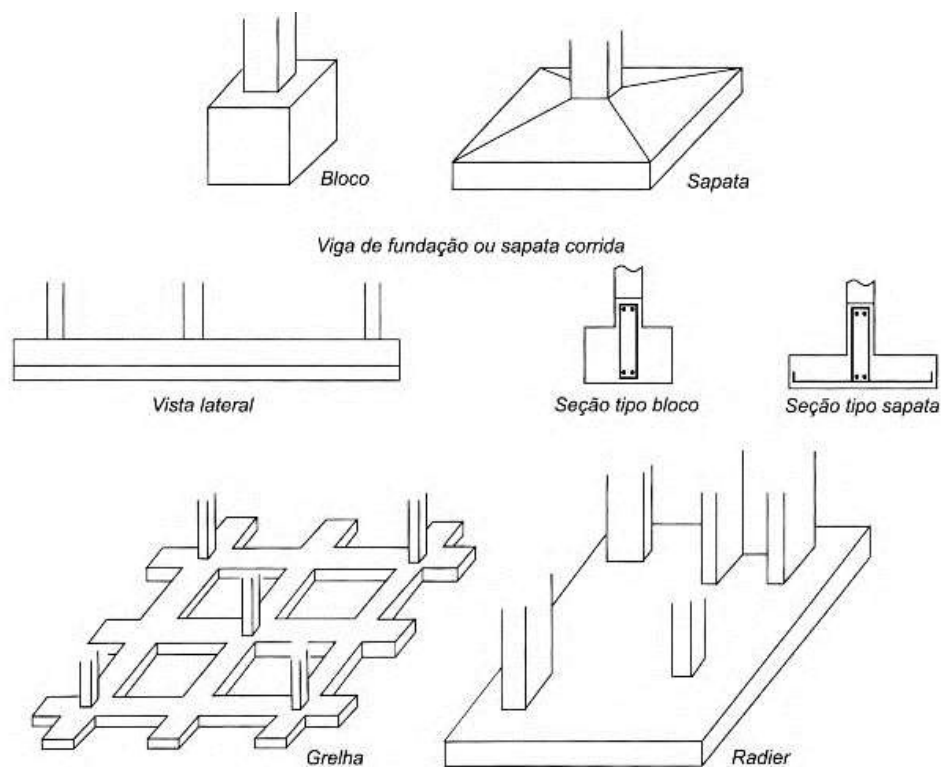
**Sapata corrida** - sapata sujeita a ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares em um mesmo alinhamento, sendo eles os baldrame ou de vigas de fundação);

**Sapata associada** - sapata que aloca mais de um pilar;

**Grelha** - elemento de fundação formado por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares (tipo não citado na norma NBR 6122/2010);

**Radier** - elemento de fundação linear superficial que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.

Figura 2 - Tipos de fundações superficiais.



Fonte: (Velloso e Lopes, 2010).

#### 4.1.2 Fundações Profundas

Fundações profundas são aquelas cujo mecanismo de ruptura de base não surge na superfície do terreno, ou seja, sua ruptura ocorre a uma profundidade mais abaixo da superfície. Como essa ruptura de base atinge uma profundidade mais elevada, a norma NBR 6122 (ABNT, 2022) determinou que fundações profundas são aquelas cujas bases estão apoiadas em uma profundidade superior a duas vezes a sua menor dimensão e que estejam a, pelo menos, 3 m de profundidade (VELLOSO; LOPES, 2011).

Assim, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), fundações profundas são elementos de fundação que transmitem a carga ao terreno através da sua base (chamada de resistência de ponta), da sua superfície lateral (chamada de resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, tendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade maior que oito vezes a sua menor dimensão e sendo, no mínimo, 3,0 m;

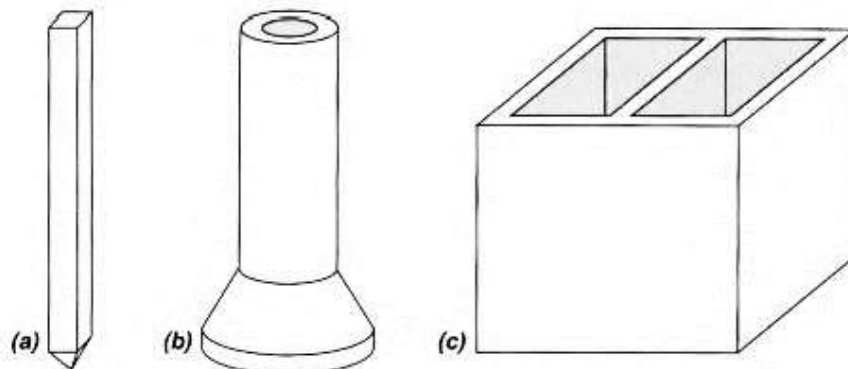
Diante disso, as fundações profundas são separadas em três grupos, conforme a Figura 3 (VELLOSO E LOPES, 2010):

**Estaca** - elemento de fundação profunda executado por ferramentas ou equipamentos, através de cravação ou escavação, ou ainda, mista;

**Tubulão** - elemento de fundação profunda cilíndrico que, na fase final da sua execução, requer a descida de operário ou técnico;

**Caixão** - elemento de fundação profunda prismático, concretado na superfície e instalado por escavação interna (tipo não citado na norma NBR 6122/2010).

Figura 3 - Tipos de fundações profundas: (a) estaca; (b) tubulão; (c) caixão.

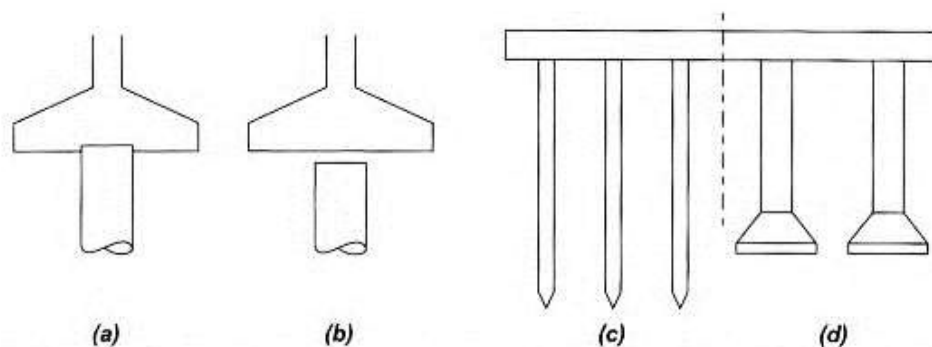


Fonte: (Velloso e Lopes, 2010).

Existem, ainda, as fundações mistas, que unem soluções de fundação superficial com profunda. Alguns exemplos estão mostrados na Figura 4 (VELLOSO E LOPES, 2010):



Figura 4 - Tipos de fundações mistas: (a) sapata associada à estaca (estaca T); (b) sapata associada à estaca com material compressível entre elas (estapata); (c) radier sobre estacas; e (d) radier sobre tubulões.



Fonte: (Velloso e Lopes, 2010).

## 4.2 Estudos do solo

Fundações são elementos estruturais cuja responsabilidade é transferir os carregamentos de uma superestrutura aos solos. Para que a sua capacidade funcional não seja comprometida, gerando patologias na construção, ou mesmo ocasionar a destruição da estrutura, são necessárias algumas prevenções na elaboração, na execução e na utilização dos projetos de fundações. Para a realização desses projetos, o solo é o principal fator a ser considerado e, por conseguinte, seu comportamento deve ser devidamente analisado. Dessa forma, é necessário que haja a realização de estudos geotécnicos que permitam explorar e detalhar o perfil do solo analisado, possibilitando assim, a determinação do seu comportamento e de suas características (MAGALHÃES et al., 2020).

Assim, conclui-se que o estudo do solo é um componente fundamental para o bom funcionamento de processos construtivos. Segundo a NBR 6122/2020 (ABNT, 2022), qualquer edificação deve executar no mínimo, sondagens a percussão com SPT (Standard Penetration Test). Esse processo, porém, algumas vezes não é executado em obras de pequeno porte (PENHA; CARDOSO, 2021).

### 4.2.1 Métodos de Sondagem

Os procedimentos de sondagem podem ser divididos entre (MAICÁ et al., 2020):

- Ensaio de penetração de cone (CPT);
- Ensaio de Palheta (VST);
- Ensaio Pressiométrico (PMT);
- Ensaio Dilatométrico (DMT);
- Ensaio a Percussão (SPT).

#### 4.2.2 Método de Sondagem a Percussão (SPT)

A metodologia da sondagem SPT é, geralmente, a mais utilizada nos canteiros de obra na investigação do solo que tem como objetivo determinar os tipos de solo, os índices de resistência à penetração e, se houver, a posição de nível da água. Sua aparelhagem é composta por torres com roldana, tubos de revestimentos, cravação, trado concha ou trado helicoidal, amostrador, martelo padronizado, cabeças de bateria, medidor de nível de água, recipientes para amostragem e outras ferramentas para o procedimento da aparelhagem (LOPES; MENDES, 2020).

Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), o ensaio se dá pela instalação do equipamento há 1 m de profundidade, realizada através do trado, onde é recolhida uma amostra do solo e, a cada metro de perfuração, também há a coleta de amostras através do amostrador-padrão, que é fixado nas hastes do aparelho. Em seguida, coloca-se um martelo de 65 kg a uma altura de 75 cm que cairá, em queda livre, sobre o amostrador-padrão, que contará o número de golpes a cada 15 cm de perfuração até completar 45 cm. Dessa forma, o valor de NSPT será a soma do número de golpes necessários para os últimos 30 cm de penetração do amostrador-padrão.

Dessa forma, em resumo, a sondagem SPT se divide nas seguintes etapas (GALVÃO et al., 2019):

- Abertura do furo;
- Ensaio de penetração;
- Amostragem;
- Avaliação do nível d'água;
- Identificação e classificação das amostras;
- Relatório.

#### 4.2.3 Metodologia de Aoki-Velloso (1975)

De acordo com a NBR 6122 (2022), os métodos semiempíricos são métodos que relacionam os resultados obtidos em ensaios, como o SPT, CPT etc, com tensões admissíveis ou tensões resistentes de cálculo. A norma também diz que os domínios de validade de suas aplicações devem ser observados, assim como as dispersões de dados e as limitações regionais associadas a cada um dos métodos.

De acordo com Velloso e Lopes (2011), o método de Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido a partir da comparação entre as provas de carga em estacas e sondagens SPT e

pode ser utilizado a partir de resultados de ensaio SPT e CPT. Cintra e Aoki (2010) afirmam que, para o método de Aoki-Velloso, as incógnitas  $r_p$  e  $r_l$  são, inicialmente, relacionadas a ensaios de penetração estática CPT, tendo como base os valores da resistência de ponta do cone ( $q_c$ ) e o atrito lateral unitário da luva ( $f_s$ ), conforme demonstra equações a seguir:

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad \text{Eq. 1}$$

$$r_l = \frac{f_s}{F_2} \quad \text{Eq. 2}$$

Nesse método, são propostos valores para os fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$ , que levam em consideração a diferença entre o comportamento da estaca e do cone do CPT e a influência do método executivo de cada tipo delas. A Tabela 01 apresenta os fatores  $F_1$  e  $F_2$  para cada tipo de estaca (MONTEIRO et al., 2017).

Tabela 1 – Valores dos fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$  atualizados.

Tipo de estaca	$F_1$	$F_2$
Franki	2,5	$2F_1$
Metálica	1,75	$2F_1$
Pré Moldada	$1+D/0,8$	$2F_1$
Escavada	3	$2F_1$
Raiz, Hélice Contínua e Ômega	2	$2F_1$

Fonte: (Cintra e Aoki, 2010).

Entretanto, pelo fato de que o método CPT é menos utilizado no Brasil, o valor da resistência de ponta e do atrito lateral podem ser calculados através do uso do índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ), demonstrado nas equações a seguir (MONTEIRO et al., 2017):

$$q_c = KN_{SPT} \quad \text{Eq. 3}$$

$$f_s = \alpha KN_{SPT} \quad \text{Eq. 4}$$

onde  $\alpha$  representa a razão de atrito, expressa em função do tipo de solo, e  $K$  é um coeficiente que também depende do tipo de solo. A Tabela 02, disposta a seguir, mostra os valores de  $\alpha$  e de  $K$ .

Tabela 2 - Valores de  $\alpha$  e K.

Tipo de sola	K (kPa)	$\alpha$ (%)
Areia	1000	1,4
Areia Siltosa	800	2
Areia Siltoargilosa	700	2,4
Areia Argilosa	600	3
Areia Argilosiltosa	500	2,8
Silte	400	3
Silte Arenoso	550	2,2
Silte Arenoargiloso	450	2,8
Silte Argiloso	230	3,4
Silte Argiloarenoso	250	3
Argila	200	6
Argila Arenosa	350	2,4
Argila Arenossiltosa	300	2,8
Argila Siltosa	220	4
Argila Siltoarenosa	330	3

Fonte: (Aoki e Velloso, 1975).

Finalmente, a capacidade de carga R, pelo método Aoki-Velloso (1975), pode ser estimada pela seguinte equação (MONTEIRO et al., 2017):

$$R = \frac{KN_p}{F_1} A_p + \frac{U}{F_2} \sum_1^n (\alpha KN_L L) \quad \text{Eq. 5}$$

onde  $N_p$  e  $N_L$  são o  $N_{SPT}$  na cota de apoio da ponta da estaca e o  $N_{SPT}$  médio na camada de solo de espessura  $\Delta L$ , respectivamente.

#### 4.2.4 Metodologia de Décourt-Quaresma (1978)

Assim como Aoki-Velloso (1975), no método Décourt-Quaresma (1978), a capacidade de carga em estacas também é realizada em função da resistência da ponta e dos atritos laterais. Entretanto, neste método, a capacidade de carga é determinada a partir de ensaios SPT, enquanto que, no outro método, é determinado através de ensaios CPT (MONTEIRO et al., 2017).

Décourt e Quaresma (1978) estimaram que a resistência de ponta e o atrito lateral podem ser obtidos a partir do valor médio do índice de resistência à penetração do SPT, conforme demonstrado nas equações a seguir:

$$R_p = CN_p \quad \text{Eq. 6}$$

$$R_L = 10 \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) \quad \text{Eq. 7}$$

onde  $N_L$  é o valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do comprimento do fuste,  $C$  é o coeficiente característico do solo (indicado na Tabela 03) e  $N_p$  é o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta da estaca, obtido através de três valores: o valor correspondente ao nível da ponta, o valor imediatamente anterior e o valor imediatamente posterior.

Tabela 3 - Valores do coeficiente característico do solo  $C$ .

<b>Tipo de solo</b>	<b>C (kPa)</b>
Argila	120
Silte Argiloso *	200
Silte Arenoso *	250
Areia	400

**\* alteração de rocha (solos residuais)**

Fonte: (Décourt e Quaresma, 1978).

Posteriormente, Décourt introduziu fatores  $\alpha$  e  $\beta$  (indicados na tabela 04), respectivamente, nas parcelas de resistência de ponta e de atrito lateral, com o objetivo de adequar o método para estacas escavadas com lama bentonítica, escavadas em geral, hélice contínua, raiz e injetadas sob alta pressão, o que gerou a seguinte expressão (MONTEIRO et al., 2017):

$$R = \alpha C N_p A_p + \beta 10 \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) UL \quad \text{Eq. 8}$$

Tabela 4 - Valores dos coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$ .

<b>Tipo de solo</b>	<b>Tipos de Estacas</b>				
	Escavada em geral	Escavada com betonina	Hélice Contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
<b><math>\alpha</math></b>					
Argilas	0,85	0,85	0,30 *	0,85 *	1,00 *
Solos Intermediários	0,60	0,60	0,30 *	0,60 *	1,00 *
Areias	0,50	0,50	0,30 *	0,50 *	1,00 *
<b><math>\beta</math></b>					
Argilas	0,85 *	0,90 *	1,00 *	1,50 *	3,00 *
Solos Intermediários	0,65 *	0,75 *	1,00 *	1,50 *	3,00 *
Areias	0,50 *	0,60 *	1,00 *	1,50 *	3,00 *

\* Valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: (Décourt, 1996).

#### 4.2.5 Metodologia de Teixeira (1996)

Teixeira (1996), tentando unificar os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), propõe que o cálculo da capacidade de carga seja feito utilizando outros parâmetros para  $\alpha$  e  $\beta$ , por meio da equação:

$$R=R_p+R_L=\alpha \cdot N_p \cdot A_p+\beta \cdot N_L \cdot U \cdot L \quad \text{Eq. 9}$$

onde os valores da resistência de ponta  $R_p$  e do atrito lateral  $R_L$  podem ser calculados através das seguintes equações:

$$R_p=\alpha \cdot N_p \cdot A_p \quad \text{Eq. 9.1}$$

$$R_L=\beta \cdot N_L \cdot U \cdot L \quad \text{Eq. 9.2}$$

sendo  $N_p$  o valor médio do índice de resistência à penetração, medido em um intervalo de quatro diâmetros acima da ponta e um diâmetro abaixo e  $N_L$  o valor médio do índice de resistência à penetração ao longo de todo o fuste da estaca.

Os valores propostos por Teixeira (1996) para  $\alpha$  são decorrentes do solo e do tipo de estaca a ser utilizada, conforme demonstra a Tabela 05.

Tabela 5 - Valores do parâmetro  $\alpha$ .

Solo	Tipo de estaca - $\alpha$ (kPa)			
	Pré-Metálica e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
(4 < SPT < 40)				
Argila Siltosa	110	100	100	100
Silte Argiloso	160	120	110	110
Argila Arenosa	210	160	130	140
Silte Arenoso	260	210	160	160
Areia Argilosa	300	240	200	190
Areia Siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: (Teixeira, 1996).

Já os valores sugeridos para o parâmetro  $\beta$  são decorrentes apenas do tipo de estaca, independente da composição das camadas do solo, conforme mostrados na Tabela 06.

Tabela 6 – Valores do parâmetro  $\beta$  (kPa) (Resistência Lateral).

<b>Tipo de estaca</b>	<b><math>\beta</math> (kPa)</b>
Pré-Moldada e Perfil Metálico	4
Franki	5
Hélice Contínua	4
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: (Teixeira, 1996).

### 4.3 Fator de segurança

Na construção civil, todos os sistemas devem funcionar e trabalhar de forma segura e eficaz. E, para isso, existe o chamado *fator de segurança*, que nada mais é do que a relação entre a capacidade de carga de uma estrutura e a tensão admissível do projeto, onde o seu uso garante que a estrutura irá suportar todo o carregamento a ela previsto e dentro de uma margem de segurança. Dessa forma, para que o sistema ocorra de forma segura e eficaz, a carga transmitida ao elemento nunca deverá ser superior à carga admissível. Para isso, a Eq. 10 traz o resumo do cálculo que deverá ser realizado com o uso do fator de segurança para que a estrutura esteja corretamente carregada (GOUVEIA, 2018).

$$Q_{adm} = \frac{Q_c}{F} \quad \text{Eq. 10}$$

onde,  $Q_{adm}$  é a carga admissível,  $Q_c$  é a capacidade de carga e  $F$  é o fator de segurança.

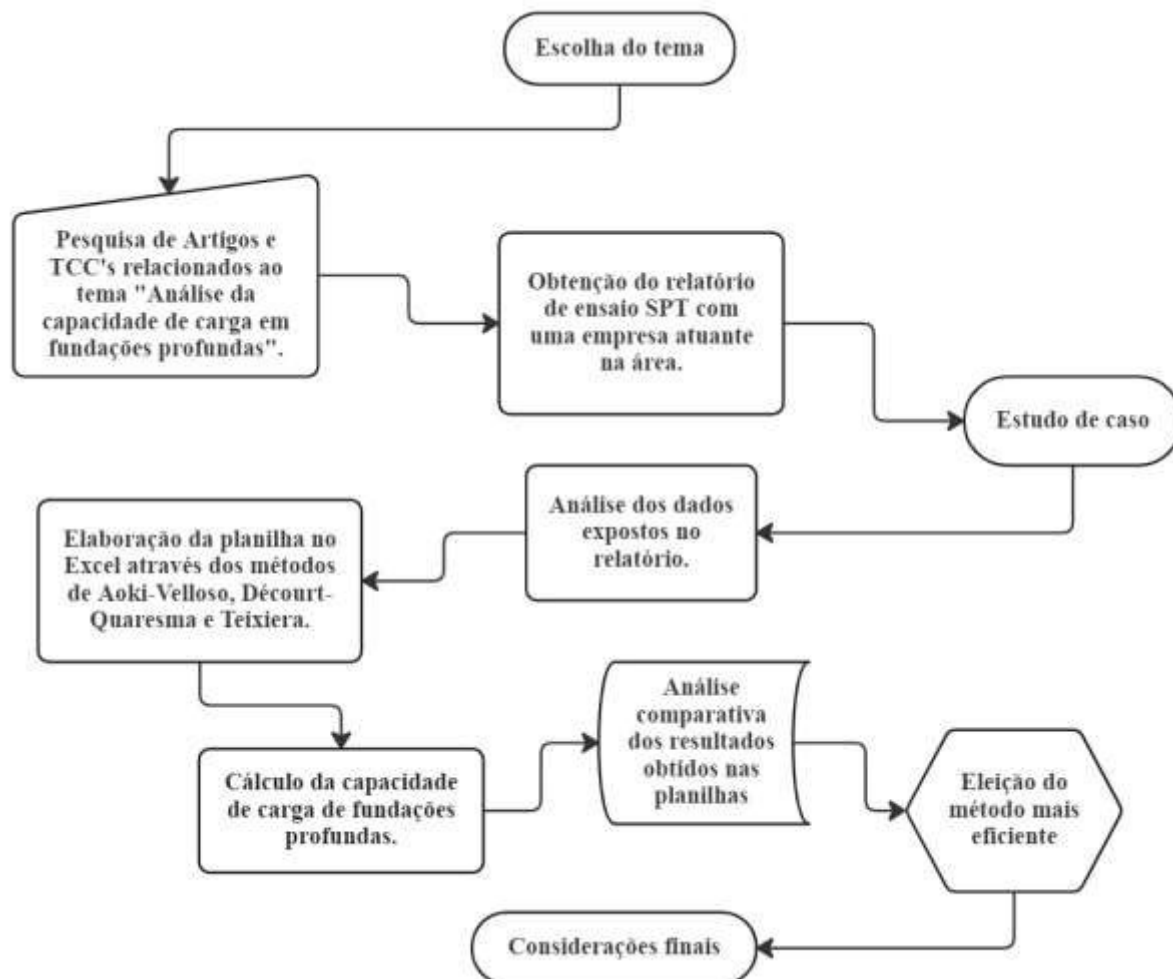
Entretanto, há métodos em que o próprio autor pode definir um fator de segurança ideal, que dependem da forma em que a tensão admissível foi uniformizada pelo mesmo, como é o caso, por exemplo, do método proposto por Décourt-Quaresma para o cálculo da capacidade de carga. Em seu método, é convencional utilizar o fator de segurança igual a 1,3 para resistências laterais e fator de segurança igual a 4 para resistências de ponta. Dessa forma, o cálculo da tensão admissível se dá conforme a Eq. 11 (MARANGON, 2018).

$$Q_{adm} = \frac{Q_p}{4} + \frac{Q_L}{1,3} \quad \text{Eq. 11}$$

## 5 METODOLOGIA

O fluxograma apresentando na Figura 5 esquematiza toda a metodologia utilizada no trabalho:

Figura 5 - Fluxograma do método de pesquisa.



Fonte: Autora, 2022.

Dessa forma, a metodologia deste trabalho foi dividida nas respectivas etapas listadas a seguir:

- I- Revisão bibliográfica em plataformas como Google Acadêmico, Periódicos (Portal da CAPES), SciELO, Scribd e Internet Archive, em busca de trabalhos para serem tomados como base, cujo critério de escolha para essa pesquisa foi o de pertencerem ao tema “Análise da capacidade de carga em fundações profundas”.



- II- Contactar empresas e profissionais atuantes na área de execução de ensaios SPT, com a finalidade de obter um relatório contendo informações técnicas para a realização dos cálculos de dimensionamento e capacidade de carga de fundações;
- III- Em primeira instância, houve a obtenção de um relatório da sondagem SPT através de uma empresa capacitada, que contém todas as informações necessárias para a realização do presente trabalho.
- IV- Calcular, a capacidade de carga das fundações de acordo com as referências dos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira;
- V- Fazer a análise comparativa dos resultados obtidos através dos métodos semiempíricos com os valores de capacidade de carga obtidos em campo, dispostos no relatório.

## 5.1 Localização

O estudo de caso, disposto nos relatórios no Anexo I, II e III, foi realizado na cidade de Tasso Fragoso-MA (Figura 6) pela empresa Y, de um projeto de uma balança para pesagem de caminhões cargueiros. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2021, a cidade de Tasso Fragoso é um município brasileiro que está situado no sul do estado do Maranhão. Sua população estimada em 2021 é de 8.642 habitantes.

Figura 6 - Mapa da cidade de Tasso Fragoso-MA.



Fonte: Ministério Público do Estado do Maranhão (MPMA), 2019.

## 5.2 Ensaio SPT

A pesquisa foi desenvolvida através do relatório de sondagem a percussão d'água, exposto nos Anexos A, B e C, tipo SPT (Standard Penetration Test), realizado com uso de uma perfuratriz, fornecido e executado pela empresa Y e avaliado através da metodologia de Terzaghi & Peck (1948) para o cálculo da capacidade de carga do solo. A Figura 7 mostra a localização da realização do ensaio SPT.

Figura 7 - Planta de Situação do Ensaio SPT



Fonte: Autora, 2022.

A metodologia empregada para a realização da sondagem observa as recomendações prescritas na NBR 6484 (ABNT, 2020) e está dividida nas seguintes etapas:

- a) Avanço da Sondagem - Acima do nível d'água do terreno, a perfuração foi executada através de trado manual, excetuando-se os casos em que, em função das características do terreno, sua utilização fora ineficaz. Na presença do nível d'água, ou em razão de outros motivos operacionais que tornaram o trado inoperante, a sondagem prosseguiu por meio de lavagem com circulação de água.
- b) Ensaio de penetração dinâmica - O ensaio de penetração dinâmica consiste na cravação amostrador padrão em um trecho de 45cm, dividido em três estágios de 15cm. A cravação é feita por meio de golpes sucessivos de um martelo pesando 65 Kgf, caindo em queda livre de uma altura de 75cm. A resistência oferecida pelo terreno à cravação do amostrador é representada pelo índice de resistência à penetração N, definindo o número de golpes necessários à penetração de 30cm finais do amostrador.

- c) Amostragem - A cravação do amostrador permite a obtenção de amostras deformadas de material a diferentes profundidades. Desse material, colhe-se uma fração representativa que é armazenada em embalagem plástica, devidamente identificada para posterior análise tátil-visual.
- d) Ensaio de avanço de perfuração por lavagem - Consiste na observação das penetrações obtidas na perfuração por lavagem quando encontrado terreno resistente a este tipo de perfuração. São registradas as penetrações ao trépano com lavagem obtidas em três intervalos 10 minutos. Encerra-se o ensaio quando a penetração for maior que 5cm em cada período quando após a realização de quatro ensaios consecutivos não for alcançada a profundidade de ensaio penetrométrico. Neste caso diz-se que o terreno é impenetrável ao trépano.

Diante disso, a sondagem SPT foi realizada através de três furos (SPT 01, SPT 02 e SPT 03), no período de 18 a 20/08/2021, utilizando um amostrador padronizado de 50,80 mm e 34,90 mm de diâmetro externo e interno, respectivamente, e tubo de revestimento e hastes de perfuração com diâmetros internos de 66,50mm e 25,00mm, respectivamente.

Dessa forma, os mesmos ensaios de sondagens serão avaliados pelo presente trabalho por meio das metodologias de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira para o alcance dos objetivos estabelecidos. Os dados de entrada estarão de acordo com o fornecido nos relatórios dos ensaios SPT.

Após a realização da sondagem SPT, tem-se a preparação das fundações. Para este trabalho, a estaca a ser apresentada é a estaca escavada (sem uso de lama), que, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), é uma estaca moldada *in loco*, por meio da concretagem do furo executado por perfuratriz, utilizada em subsolos que possuem características tais que o furo se mantenha estável sem necessidade de revestimento ou de fluido estabilizante. A profundidade dessa estaca deve ir até o limite do nível de água, não ultrapassando o mesmo durante todo o processo executivo, da perfuração à concretagem.

### 5.3 Relatório Fotográfico

Relatório fotográfico da execução da sondagem a percussão dos furos SPT 01 (Figura 8), SPT 02 (Figura 9) e SPT 03 (Figura 10), nos dias 18 a 20/08/2021.

Figura 8 - Execução da sondagem do SPT 01 no dia 18/08/2021



Fonte: Empresa Y.

Figura 9 - Execução da sondagem do SPT 02 no dia 19/08/2021



Fonte: Empresa Y.

Figura 10 - Execução da sondagem do SPT 03 no dia 20/08/2021



Fonte: Empresa Y.

## 5.4 Cálculo da Capacidade de Carga

O cálculo da capacidade de carga de fundações foi realizado através de planilhas eletrônicas, seguindo as metodologias de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996).

### 5.4.1 Planilha de Aoki-Velloso (1975)

Para a planilha de Aoki-Velloso, disposta no Apêndice A, há, inicialmente, uma tabela contendo os dados necessários para o cálculo da capacidade de carga da fundação, onde foram especificadas a moldagem, o tipo, o diâmetro (cm), a área da base ( $m^2$ ), a área lateral unitária ( $m^2$ ), o perímetro (m) e o comprimento (m) da estaca.

Em seguida, há uma outra tabela contendo os resultados dos cálculos, onde marca a profundidade (m) da estaca; os valores de  $K$  (kPa) e de  $\alpha$  (%); os valores de  $F_1$  e  $F_2$ ; os valores de  $R_p$  (Eq. 1); os valores de  $R_L$  (Eq. 2); os valores de  $R_{L\text{ acumulada}}$ ; os valores de  $R_{\text{TOTAL}}$  (Eq. 5), que é a somatória de  $R_p$  com  $R_{L\text{ acumulada}}$ ; e, por fim, os valores de  $R_{adm}$ , encontrados a partir da divisão de  $R_{\text{TOTAL}}$  pelo fator de segurança 2,0.

Dessa forma, os cálculos serão realizados de forma que os resultados serão obtidos através da metodologia proposta por Aoki-Velloso, seguindo os parâmetros estabelecidos para cada um dos termos a serem utilizados.

### 5.4.2 Planilha de Décourt-Quaresma (1978)

Para a planilha de Décourt-Quaresma, disposta no Apêndice B, há, inicialmente, uma tabela contendo os dados necessários para o cálculo da capacidade de carga da fundação, onde foram especificadas a moldagem, o tipo, o diâmetro (cm), a área da base ( $m^2$ ), a área lateral unitária ( $m^2$ ), o perímetro (m) e o comprimento (m) da estaca.

Em seguida, há uma outra tabela contendo os resultados dos cálculos, onde marca a profundidade (m) da estaca; os valores de  $N_p$ ; os valores de  $N_L$ ; os valores de  $\alpha$  (%) e de  $\beta$  (%); os valores do coeficiente característico do solo ( $C$ ); os valores de  $R_p$ ; os valores de  $R_L$ ; os valores de  $R_{L\text{ acumulada}}$ ; os valores de  $R_{\text{TOTAL}}$  (Eq. 8), que é a somatória de  $R_p$  com  $R_{L\text{ acumulada}}$ ; os valores de  $R_{adm_1}$ , encontrados a partir da divisão de  $R_{\text{TOTAL}}$  pelo fator de segurança 2,0; os valores de  $R_{adm_2}$ , encontrados a partir da soma entre a divisão de  $R_p$  por 4 e a divisão de  $R_{L\text{ acumulada}}$  por 1,3; e, por fim, os valores de  $R_{adm}$ , encontrados a partir da escolha do menor valor entre os valores de  $R_{adm_1}$  e  $R_{adm_2}$ .

Dessa forma, os cálculos serão realizados de forma que os resultados serão obtidos através da metodologia proposta por Décourt-Quaresma, seguindo os parâmetros estabelecidos para cada um dos termos a serem utilizados.

#### 5.4.3 Planilha de Teixeira (1996)

Para a planilha de Teixeira, disposta no Apêndice C, há, inicialmente, uma tabela contendo os dados necessários para o cálculo da capacidade de carga da fundação, onde foram especificadas a moldagem, o tipo, o diâmetro (cm), a área da base ( $m^2$ ), a área lateral unitária ( $m^2$ ), o perímetro (m) e o comprimento (m) da estaca.

Em seguida, há uma outra tabela contendo os resultados dos cálculos, onde marca a profundidade (m) da estaca; os valores de  $N_p$ ; os valores de  $N_L$ ; os valores de  $\alpha$  (%) e  $\beta$  (%); os valores de  $R_p$  (Eq. 9.1); os valores de  $R_L$  (Eq. 9.2); os valores de  $R_L$  acumulada; os valores de  $R_{TOTAL}$  (Eq. 9), que é a somatória de  $R_p$  com  $R_L$  acumulada; e, por fim, os valores de  $R_{adm}$ , encontrados a partir da divisão de  $R_{TOTAL}$  pelo fator de segurança 2,0.

Dessa forma, os cálculos serão realizados de forma que os resultados serão obtidos através da metodologia proposta por Teixeira, seguindo os parâmetros estabelecidos para cada um dos termos a serem utilizados.

#### 5.4.4 Gráfico de discrepância entre os métodos

Após a realização dos cálculos de capacidade de carga nas diferentes metodologias, há a planilha intitulada *Gráfico*, cuja função é analisar a discrepância entre os métodos utilizados, com o objetivo de decidir qual deles é o mais viável para o cálculo da capacidade de carga em fundações.

Nessa planilha, disposta no Apêndice D, há, inicialmente, uma tabela contendo os valores da carga admissível de cada um dos métodos e a média entre eles, onde marca a profundidade (m); a Carga Geotécnica Admissível para os métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira; e a média entre esses três métodos.

Em seguida, há um gráfico de capacidade de carga, de Profundidade (m) em função da Carga Admissível ( $R_{adm}$ ), feito utilizando todos os dados da tabela. A partir desse gráfico, será possível analisar as curvas obtidas através dos valores da carga admissível de cada um dos métodos utilizados, afim de avaliar a discrepância entre eles para que haja a eleição do método mais eficiente para o cálculo da capacidade de carga das fundações.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada uma das sondagens SPT (SPT 01, SPT 02 e SPT 03), serão expostos os resultados e as análises dos cálculos da capacidade de carga das fundações.

### 6.1 SPT 01

Resultados do cálculo da capacidade de carga para o furo SPT 01 (Anexo A).

#### 6.1.1 Método de Aoki-Velloso (1975)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Aoki-Velloso, foi realizada a Tabela 7, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 01.

Tabela 7 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso

Solo	N <sub>SPT</sub>	Prof. (m)	K (kPa)	$\alpha$	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	R <sub>p</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>L Ac.</sub>	R <sub>TOTAL</sub>	R <sub>adm</sub>
Areia siltosa	0	1	800	0,02	3	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	4	2	450	0,028	3	6	42,41	15,83	15,83	58,25	29,12
Silte arenoargiloso	2	3	450	0,028	3	6	21,21	11,88	27,71	48,91	24,46
Silte arenoargiloso	2	4	450	0,028	3	6	21,21	15,83	43,54	64,75	32,37
Silte arenoargiloso	2	5	450	0,028	3	6	21,21	19,79	63,33	84,54	42,27
Silte arenoargiloso	2	6	450	0,028	3	6	21,21	23,75	87,08	108,29	54,15
Silte arenoargiloso	2	7	450	0,028	3	6	21,21	27,71	114,79	136,00	68,00
Silte arenoargiloso	2	8	450	0,028	3	6	21,21	31,67	146,46	167,67	83,83
Silte arenoargiloso	2	9	450	0,028	3	6	21,21	35,63	182,09	203,29	101,65
Silte arenoargiloso	3	10	450	0,028	3	6	31,81	59,38	241,46	273,27	136,64
Silte arenoargiloso	4	11	450	0,028	3	6	42,41	87,08	328,55	370,96	185,48
Silte arenoargiloso	4	12	450	0,028	3	6	42,41	95,00	423,55	465,96	232,98
Silte arenoargiloso	4	13	450	0,028	3	6	42,41	102,92	526,47	568,88	284,44
Silte arenoargiloso	5	14	450	0,028	3	6	53,01	138,54	665,01	718,03	359,01
Silte arenoargiloso	6	15	450	0,028	3	6	63,62	178,13	843,14	906,76	453,38
Silte arenoargiloso	6	16	450	0,028	3	6	63,62	190,00	1033,14	1096,76	548,38
Silte arenoargiloso	2	17	450	0,028	3	6	21,21	67,29	1100,44	1121,64	560,82
Silte arenoargiloso	2	18	450	0,028	3	6	21,21	71,25	1171,69	1192,89	596,45
Silte arenoargiloso	4	19	450	0,028	3	6	42,41	150,42	1322,11	1364,52	682,26
Silte arenoso	4	20	550	0,022	3	6	51,84	152,05	1474,16	1526,00	763,00
Silte arenoso	5	21	550	0,022	3	6	64,80	199,57	1673,73	1738,53	869,26
Silte arenoso	10	22	550	0,022	3	6	129,59	418,15	2091,88	2221,47	1110,73
Silte argiloarenoso	53	23	250	0,03	3	6	312,20	1436,10	3527,98	3840,17	1920,09
Silte argiloarenoso	59	24	250	0,03	3	6	347,54	1668,19	5196,16	5543,70	2771,85

Fonte: Autora, 2022.

onde:

k = coeficiente que depende do tipo do solo;

$\alpha$  = razão de atrito expressa em função do tipo de solo;

F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> = valores de correção que variam de acordo com o tipo de estaca;



$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 01, proposta por Aoki-Velloso e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 24 m de profundidade, é de 2771,85 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 277 toneladas.

### 6.1.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Décourt-Quaresma, foi realizada a Tabela 8, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 01 (Anexo A).

Tabela 8 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma

Solo	$N_{SPT}$	Prof. (m)	$N_p$	$N_L$	$\alpha$ (%)	$\beta$ (%)	C	$R_p$	$R_L$	$R_{L Ac}$	$R_{TOTAL}$	$R_{adm1}$	$R_{adm2}$	$R_{adm}$
Areia siltosa	0	1	0,00	0,00	0,50	0,50	400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	4	2	4,00	0,00	0,60	0,65	250	42,41	0,00	0,00	42,41	21,21	10,60	10,60
Silte arenoargiloso	2	3	2,67	0,00	0,60	0,65	250	28,27	0,00	0,00	28,27	14,14	7,07	7,07
Silte arenoargiloso	2	4	2,00	4,00	0,60	0,65	250	21,21	57,18	57,18	78,38	39,19	49,28	39,19
Silte arenoargiloso	2	5	2,00	3,00	0,60	0,65	250	21,21	61,26	118,44	139,64	69,82	96,41	69,82
Silte arenoargiloso	2	6	2,00	2,67	0,60	0,65	250	21,21	69,43	187,87	209,07	104,54	149,81	104,54
Silte arenoargiloso	2	7	2,00	2,50	0,60	0,65	250	21,21	78,62	266,49	287,69	143,85	210,29	143,85
Silte arenoargiloso	2	8	2,00	2,40	0,60	0,65	250	21,21	88,22	354,70	375,91	187,95	278,15	187,95
Silte arenoargiloso	2	9	2,33	2,33	0,60	0,65	250	24,74	98,02	452,72	477,46	238,73	354,43	238,73
Silte arenoargiloso	3	10	3,00	2,29	0,60	0,65	250	31,81	107,94	560,66	592,46	296,23	439,23	296,23
Silte arenoargiloso	4	11	3,67	2,25	0,60	0,65	250	38,88	117,93	678,58	717,46	358,73	531,71	358,73
Silte arenoargiloso	4	12	4,00	2,33	0,60	0,65	250	42,41	130,69	809,27	851,68	425,84	633,12	425,84
Silte arenoargiloso	4	13	4,33	2,50	0,60	0,65	250	45,95	146,01	955,28	1001,22	500,61	746,32	500,61
Silte arenoargiloso	5	14	5,00	2,64	0,60	0,65	250	53,01	161,14	1116,41	1169,43	584,71	872,03	584,71
Silte arenoargiloso	6	15	5,67	2,75	0,60	0,65	250	60,08	176,13	1292,54	1352,62	676,31	1009,28	676,31
Silte arenoargiloso	6	16	4,67	2,92	0,60	0,65	250	49,48	193,52	1486,06	1535,54	767,77	1155,49	767,77
Silte arenoargiloso	2	17	3,33	3,14	0,60	0,65	250	35,34	213,25	1699,31	1734,65	867,33	1316,00	867,33
Silte arenoargiloso	2	18	2,67	3,33	0,60	0,65	250	28,27	232,79	1932,10	1960,37	980,19	1493,30	980,19
Silte arenoargiloso	4	19	3,33	3,25	0,60	0,65	250	35,34	242,49	2174,59	2209,93	1104,97	1681,60	1104,97
Silte arenoso	4	20	4,33	3,18	0,60	0,65	250	45,95	252,25	2426,84	2472,79	1236,39	1878,29	1236,39
Silte arenoso	5	21	6,33	3,22	0,60	0,65	250	67,15	266,83	2693,67	2760,82	1380,41	2088,84	1380,41
Silte arenoso	10	22	22,67	3,26	0,60	0,65	250	240,33	281,37	2975,04	3215,37	1607,69	2348,58	1607,69
Silte argiloarenoso	53	23	40,67	3,35	0,60	0,65	200	344,95	298,24	3273,28	3618,23	1809,11	2604,14	1809,11
Silte argiloarenoso	59	24	56,00	3,67	0,60	0,65	200	475,01	326,73	3600,01	4075,01	2037,51	2887,99	2037,51

Fonte: Autora, 2022.

onde:

$N_p$  = valor do  $N_{SPT}$  na ponta da estaca, sendo um valor médio entre o  $N_{SPT}$  atual, o  $N_{SPT}$  anterior e o  $N_{SPT}$  posterior;



$N_L$  = valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

$\alpha$  e  $\beta$  = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

$C$  = valor tabelado de resistência do solo;

$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 01, proposta por Décourt-Quaresma e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 24 m de profundidade, é de 2037,51 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 204 toneladas.

### 6.1.3 Método de Teixeira (1996)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Teixeira, foi elaborada a Tabela 9, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 01 (Anexo A).

Tabela 9 - Capacidade de carga através do método de Teixeira

Solo	$N_{SPT}$	Prof. (m)	$N_p$	$N_L$	$\alpha$ (kPa)	$\beta$ (kPa)	$R_p$	$R_L$	$R_L$ Ac.	$R_{TOTAL}$	$R_{adm}$
Areia siltosa	0	1	41,5	0,00	240	4	704,03	0,00	0,00	704,03	352,02
Silte arenoargiloso	4	2	41,5	0,00	160	4	469,35	0,00	0,00	469,35	234,68
Silte arenoargiloso	2	3	41,5	0,00	160	4	469,35	0,00	0,00	469,35	234,68
Silte arenoargiloso	2	4	41,5	4,00	160	4	469,35	60,32	60,32	529,67	264,84
Silte arenoargiloso	2	5	41,5	3,00	160	4	469,35	56,55	116,87	586,22	293,11
Silte arenoargiloso	2	6	41,5	2,67	160	4	469,35	60,32	177,19	646,54	323,27
Silte arenoargiloso	2	7	41,5	2,50	160	4	469,35	65,97	243,16	712,51	356,26
Silte arenoargiloso	2	8	41,5	2,40	160	4	469,35	72,38	315,54	784,90	392,45
Silte arenoargiloso	2	9	41,5	2,33	160	4	469,35	79,17	394,71	864,06	432,03
Silte arenoargiloso	3	10	41,5	2,29	160	4	469,35	86,17	480,88	950,23	475,12
Silte arenoargiloso	4	11	41,5	2,25	160	4	469,35	93,31	574,18	1043,54	521,77
Silte arenoargiloso	4	12	41,5	2,33	160	4	469,35	105,56	679,74	1149,10	574,55
Silte arenoargiloso	4	13	41,5	2,50	160	4	469,35	122,52	802,26	1271,62	635,81
Silte arenoargiloso	5	14	41,5	2,64	160	4	469,35	139,14	941,41	1410,76	705,38
Silte arenoargiloso	6	15	41,5	2,75	160	4	469,35	155,51	1096,92	1566,27	783,14
Silte arenoargiloso	6	16	41,5	2,92	160	4	469,35	176,32	1273,23	1742,59	871,29
Silte arenoargiloso	2	17	41,5	3,14	160	4	469,35	201,42	1474,65	1944,01	972,00
Silte arenoargiloso	2	18	41,5	3,33	160	4	469,35	226,19	1700,85	2170,20	1085,10
Silte arenoargiloso	4	19	41,5	3,25	160	4	469,35	232,79	1933,64	2402,99	1201,50
Silte arenoso	4	20	41,5	3,18	160	4	469,35	239,50	2173,14	2642,49	1321,25
Silte arenoso	5	21	41,5	3,22	160	4	469,35	255,10	2428,24	2897,59	1448,80
Silte arenoso	10	22	41,5	3,26	160	4	469,35	270,64	2698,88	3168,23	1584,12
Silte argiloarenoso	53	23	41,5	3,35	110	4	322,68	290,47	2989,35	3312,03	1656,02
Silte argiloarenoso	59	24	41,5	3,67	110	4	322,68	331,75	3321,10	3643,78	1821,89

Fonte: Autora, 2022.

onde:

$N_p$  = valor médio do índice de resistência à penetração, medido em um intervalo de quatro diâmetros acima da ponta e um diâmetro abaixo;

$N_L$  = valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

$\alpha$  e  $\beta$  = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 01, proposta por Teixeira e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 24 m de profundidade, é de 1821,89 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 182 toneladas.

## 6.2 SPT 02

Resultados do cálculo da capacidade de carga para o furo SPT 02 (Anexo B).

### 6.2.1 Método de Aoki-Velloso (1975)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Aoki-Velloso, foi elaborada a Tabela 10, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 02 (Anexo B).

Tabela 10 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso

Solo	$N_{SPT}$	Prof. (m)	K (kPa)	$\alpha$	$F_1$	$F_2$	$R_p$	$R_L$	$R_{L Ac.}$	$R_{TOTAL}$	$R_{adm}$
Areia siltosa	0	1	800	0,02	3	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	3	2	450	0,028	3	6	31,81	11,88	11,88	43,68	21,84
Silte arenoargiloso	2	3	450	0,028	3	6	21,21	11,88	23,75	44,96	22,48
Silte arenoargiloso	3	4	450	0,028	3	6	31,81	23,75	47,50	79,31	39,65
Silte arenoargiloso	3	5	450	0,028	3	6	31,81	29,69	77,19	109,00	54,50
Silte arenoargiloso	3	6	450	0,028	3	6	31,81	35,63	112,81	144,62	72,31
Silte arenoargiloso	4	7	450	0,028	3	6	42,41	55,42	168,23	210,64	105,32
Silte arenoargiloso	4	8	450	0,028	3	6	42,41	63,33	231,57	273,98	136,99
Silte arenoargiloso	5	9	450	0,028	3	6	53,01	89,06	320,63	373,65	186,82
Silte arenoargiloso	5	10	450	0,028	3	6	53,01	98,96	419,59	472,61	236,30
Silte arenoargiloso	7	11	450	0,028	3	6	74,22	152,40	571,99	646,21	323,10
Silte arenoargiloso	8	12	450	0,028	3	6	84,82	190,00	761,99	846,82	423,41
Silte arenoargiloso	8	13	450	0,028	3	6	84,82	205,84	967,83	1052,65	526,33
Silte arenoargiloso	10	14	450	0,028	3	6	106,03	277,09	1244,92	1350,95	675,47
Silte arenoargiloso	22	15	450	0,028	3	6	233,26	653,14	1898,06	2131,32	1065,66
Silte arenoso	25	16	550	0,022	3	6	323,98	760,27	2658,32	2982,30	1491,15
Silte arenoso	30	17	550	0,022	3	6	388,77	969,34	3627,66	4016,43	2008,22

Fonte: Autora, 2022.

onde:

$k$  = coeficiente que depende do tipo do solo;

$\alpha$  = razão de atrito expressa em função do tipo de solo;

$F_1$  e  $F_2$  = valores de correção que variam de acordo com o tipo de estaca;

$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 02, proposta por Aoki-Velloso e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 17 m de profundidade, é de 2008,22 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 201 toneladas.

### 6.2.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Décourt-Quaresma, foi elaborada a Tabela 11, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 02 (Anexo B).

Tabela 11 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma

Solo	$N_{SPT}$	Prof. (m)	$N_p$	$N_L$	$\alpha$ (%)	$\beta$ (%)	C	$R_p$	$R_L$	$R_{L\ Ac.}$	$R_{TOTAL}$	$R_{adm1}$	$R_{adm2}$	$R_{adm}$
Areia siltosa	0	1	0,00	0,00	0,50	0,50	400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	3	2	3,00	0,00	0,60	0,65	250	31,81	0,00	0,00	31,81	15,90	7,95	7,95
Silte arenoargiloso	2	3	2,67	0,00	0,60	0,65	250	28,27	0,00	0,00	28,27	14,14	7,07	7,07
Silte arenoargiloso	3	4	2,67	3,00	0,60	0,65	250	28,27	49,01	49,01	77,28	38,64	44,77	38,64
Silte arenoargiloso	3	5	3,00	2,50	0,60	0,65	250	31,81	56,16	105,16	136,97	68,49	88,85	68,49
Silte arenoargiloso	3	6	3,33	2,67	0,60	0,65	250	35,34	69,43	174,59	209,94	104,97	143,14	104,97
Silte arenoargiloso	4	7	3,67	2,75	0,60	0,65	250	38,88	82,19	256,79	295,66	147,83	207,25	147,83
Silte arenoargiloso	4	8	4,33	2,80	0,60	0,65	250	45,95	94,75	351,54	397,48	198,74	281,90	198,74
Silte arenoargiloso	5	9	4,67	3,00	0,60	0,65	250	49,48	110,27	461,81	511,29	255,64	367,61	255,64
Silte arenoargiloso	5	10	5,67	3,14	0,60	0,65	250	60,08	125,44	587,25	647,33	323,66	466,75	323,66
Silte arenoargiloso	7	11	6,67	3,38	0,60	0,65	250	70,69	143,20	730,44	801,13	400,56	579,55	400,56
Silte arenoargiloso	8	12	7,67	3,56	0,60	0,65	250	81,29	160,64	891,08	972,37	486,19	705,77	486,19
Silte arenoargiloso	8	13	8,67	3,90	0,60	0,65	250	91,89	183,17	1074,25	1166,15	583,07	849,32	583,07
Silte arenoargiloso	10	14	13,33	4,27	0,60	0,65	250	141,37	207,92	1282,17	1423,54	711,77	1021,63	711,77
Silte arenoargiloso	22	15	19,00	4,58	0,60	0,65	250	201,45	232,28	1514,45	1715,91	857,95	1215,33	857,95
Silte arenoso	25	16	25,67	5,00	0,60	0,65	250	272,14	261,38	1775,83	2047,97	1023,99	1434,06	1023,99
Silte arenoso	30	17	27,50	6,21	0,60	0,65	250	291,58	319,87	2095,70	2387,28	1193,64	1684,97	1193,64

Fonte: Autora, 2022.

onde:

$N_p$  = valor do  $N_{SPT}$  na ponta da estaca, sendo um valor médio entre o  $N_{SPT}$  atual, o anterior e o posterior;

$N_L$  = valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

$\alpha$  e  $\beta$  = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

$C$  = valor tabelado de resistência do solo;

$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 02, proposta por Décourt-Quaresma e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 17 m de profundidade, é de 1193,64 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 119 toneladas.

### 6.2.3 Método de Teixeira (1996)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Teixeira, foi realizada a Tabela 12, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 02 (Anexo B).

Tabela 12 - Capacidade de carga através do método de Teixeira

Solo	$N_{SPT}$	Prof. (m)	$N_p$	$N_L$	$\alpha$ (kPa)	$\beta$ (kPa)	$R_p$	$R_L$	$R_{L\ AC.}$	$R_{TOTAL}$	$R_{adm}$
Areia siltosa	0	1	30	0,00	240	4	508,94	0,00	0,00	508,94	254,47
Silte arenoargiloso	3	2	30	0,00	160	4	339,29	0,00	0,00	339,29	169,65
Silte arenoargiloso	2	3	30	0,00	160	4	339,29	0,00	0,00	339,29	169,65
Silte arenoargiloso	3	4	30	3,00	160	4	339,29	45,24	45,24	384,53	192,27
Silte arenoargiloso	3	5	30	2,50	160	4	339,29	47,12	92,36	431,65	215,83
Silte arenoargiloso	3	6	30	2,67	160	4	339,29	60,32	152,68	491,97	245,99
Silte arenoargiloso	4	7	30	2,75	160	4	339,29	72,57	225,25	564,54	282,27
Silte arenoargiloso	4	8	30	2,80	160	4	339,29	84,45	309,70	648,99	324,50
Silte arenoargiloso	5	9	30	3,00	160	4	339,29	101,79	411,49	750,78	375,39
Silte arenoargiloso	5	10	30	3,14	160	4	339,29	118,48	529,97	869,26	434,63
Silte arenoargiloso	7	11	30	3,38	160	4	339,29	139,96	669,93	1009,22	504,61
Silte arenoargiloso	8	12	30	3,56	160	4	339,29	160,85	830,78	1170,07	585,03
Silte arenoargiloso	8	13	30	3,90	160	4	339,29	191,13	1021,91	1361,20	680,60
Silte arenoargiloso	10	14	30	4,27	160	4	339,29	225,51	1247,42	1586,71	793,36
Silte arenoargiloso	22	15	30	4,58	160	4	339,29	259,18	1506,60	1845,89	922,95
Silte arenoso	25	16	30	5,00	160	4	339,29	301,59	1808,19	2147,49	1073,74
Silte arenoso	30	17	30	6,21	160	4	339,29	398,26	2206,46	2545,75	1272,88

Fonte: Autora, 2022.

onde:

$N_p$  = valor médio do índice de resistência à penetração, medido em um intervalo de quatro diâmetros acima da ponta e um diâmetro abaixo;

$N_L$  = valor médio do  $N_{SPT}$  ao longo do fuste da estaca;

$\alpha$  e  $\beta$  = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

$R_p$  = resistência de ponta;

$R_L$  = resistência de atrito lateral;

$R_{adm}$  = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 02, proposta por Teixeira e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 17 m de profundidade, é de 1272,88 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 127 toneladas.

### 6.3 SPT 03

Resultados do cálculo da capacidade de carga para o furo SPT 03 (Anexo C).

#### 6.3.1 Método de Aoki-Velloso (1975)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Aoki-Velloso, foi realizada a Tabela 13, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 03 (Anexo C).

Tabela 13 - Capacidade de carga através do método de Aoki-Velloso

Solo	N <sub>SPT</sub>	Prof. (m)	K (kPa)	$\alpha$	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	R <sub>p</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>L AC</sub>	R <sub>TOTAL</sub>	R <sub>adm</sub>
Areia siltosa	0	1	800	0,02	3	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	3	2	450	0,028	3	6	31,81	11,88	11,88	43,68	21,84
Silte arenoargiloso	2	3	450	0,028	3	6	21,21	11,88	23,75	44,96	22,48
Silte arenoargiloso	3	4	450	0,028	3	6	31,81	23,75	47,50	79,31	39,65
Silte arenoargiloso	4	5	450	0,028	3	6	42,41	39,58	87,08	129,50	64,75
Silte arenoargiloso	4	6	450	0,028	3	6	42,41	47,50	134,59	177,00	88,50
Silte arenoargiloso	4	7	450	0,028	3	6	42,41	55,42	190,00	232,42	116,21
Silte arenoargiloso	4	8	450	0,028	3	6	42,41	63,33	253,34	295,75	147,87
Silte arenoargiloso	5	9	450	0,028	3	6	53,01	89,06	342,40	395,42	197,71
Silte arenoargiloso	2	10	450	0,028	3	6	21,21	39,58	381,99	403,19	201,60
Silte arenoargiloso	2	11	450	0,028	3	6	21,21	43,54	425,53	446,73	223,37
Silte arenoargiloso	3	12	450	0,028	3	6	31,81	71,25	496,78	528,59	264,29
Silte arenoso	8	13	550	0,022	3	6	103,67	197,67	694,45	798,12	399,06
Silte arenoso	55	14	550	0,022	3	6	712,75	1463,51	2157,96	2870,71	1435,35

Fonte: Autora, 2022.

onde:

k = coeficiente que depende do tipo do solo;

$\alpha$  = razão de atrito expressa em função do tipo de solo;

F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> = valores de correção que variam de acordo com o tipo de estaca;

R<sub>p</sub> = resistência de ponta;

R<sub>L</sub> = resistência de atrito lateral;

R<sub>adm</sub> = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 03, proposta por Aoki-Velloso e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de

atrito lateral e o fator de segurança, a 14 m de profundidade, é de 1435,35 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 144 toneladas.

### 6.3.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Décourt-Quaresma, foi realizada a Tabela 14, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 03 (Anexo C).

Tabela 14 - Capacidade de carga através do método de Décourt-Quaresma

Solo	N <sub>SPT</sub>	Prof. (m)	N <sub>p</sub>	N <sub>L</sub>	α (%)	β (%)	C	R <sub>p</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>L Ac.</sub>	R <sub>TOTAL</sub>	R <sub>adm1</sub>	R <sub>adm2</sub>	R <sub>adm</sub>
Areia siltosa	0	1	0,00	0,00	0,50	0,50	400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silte arenoargiloso	3	2	3,00	0,00	0,60	0,65	250	31,81	0,00	0,00	31,81	15,90	7,95	7,95
Silte arenoargiloso	2	3	2,67	0,00	0,60	0,65	250	28,27	0,00	0,00	28,27	14,14	7,07	7,07
Silte arenoargiloso	3	4	3,00	3,00	0,60	0,65	250	31,81	49,01	49,01	80,82	40,41	45,65	40,41
Silte arenoargiloso	4	5	3,67	2,50	0,60	0,65	250	38,88	56,16	105,16	144,04	72,02	90,62	72,02
Silte arenoargiloso	4	6	4,00	2,67	0,60	0,65	250	42,41	69,43	174,59	217,01	108,50	144,91	108,50
Silte arenoargiloso	4	7	4,00	3,00	0,60	0,65	250	42,41	85,77	260,36	302,77	151,39	210,88	151,39
Silte arenoargiloso	4	8	4,33	3,20	0,60	0,65	250	45,95	101,28	361,64	407,59	203,80	289,67	203,80
Silte arenoargiloso	5	9	3,67	3,33	0,60	0,65	250	38,88	116,40	478,04	516,92	258,46	377,44	258,46
Silte arenoargiloso	2	10	3,00	3,43	0,60	0,65	250	31,81	131,27	609,31	641,12	320,56	476,66	320,56
Silte arenoargiloso	2	11	2,33	3,63	0,60	0,65	250	24,74	148,81	758,13	782,87	391,43	589,36	391,43
Silte arenoargiloso	3	12	4,33	3,44	0,60	0,65	250	45,95	157,92	916,04	961,99	481,00	716,14	481,00
Silte arenoso	8	13	22,00	3,30	0,60	0,65	250	233,26	167,24	1083,29	1316,55	658,28	891,61	658,28
Silte arenoso	55	14	31,50	3,27	0,60	0,65	250	333,99	179,33	1262,62	1596,61	798,30	1054,74	798,30

Fonte: Autora, 2022.

onde:

N<sub>p</sub> = valor do N<sub>SPT</sub> na ponta da estaca, sendo um valor médio entre o N<sub>SPT</sub> atual, o N<sub>SPT</sub> anterior e o N<sub>SPT</sub> posterior;

N<sub>L</sub> = valor médio do N<sub>SPT</sub> ao longo do fuste da estaca;

α e β = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

C = valor tabelado de resistência do solo;

R<sub>p</sub> = resistência de ponta;

R<sub>L</sub> = resistência de atrito lateral;

R<sub>adm</sub> = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 03, proposta por Décourt-Quaresma e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 14 m de profundidade, é de 798,30 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 80 toneladas.



### 6.3.3 Método de Teixeira (1996)

Para análise da capacidade de carga através da sondagem SPT, utilizando a metodologia de Teixeira, foi realizada a Tabela 15, que mostra os valores do atrito lateral e da resistência de ponta em relação ao SPT 03 (Anexo C).

Tabela 15 - Capacidade de carga através do método de Teixeira

Solo	N <sub>SPT</sub>	Prof. (m)	N <sub>p</sub>	N <sub>L</sub>	$\alpha$ (kPa)	$\beta$ (kPa)	R <sub>p</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>L Ac.</sub>	R <sub>TOTAL</sub>	R <sub>adm</sub>
Areia siltosa	0	1	19	0,00	240	4	322,33	0,00	0,00	322,33	161,16
Silte arenoargiloso	3	2	19	0,00	160	4	214,88	0,00	0,00	214,88	107,44
Silte arenoargiloso	2	3	19	0,00	160	4	214,88	0,00	0,00	214,88	107,44
Silte arenoargiloso	3	4	19	3,00	160	4	214,88	45,24	45,24	260,12	130,06
Silte arenoargiloso	4	5	19	2,50	160	4	214,88	47,12	92,36	307,25	153,62
Silte arenoargiloso	4	6	19	2,67	160	4	214,88	60,32	152,68	367,57	183,78
Silte arenoargiloso	4	7	19	3,00	160	4	214,88	79,17	231,85	446,73	223,37
Silte arenoargiloso	4	8	19	3,20	160	4	214,88	96,51	328,36	543,24	271,62
Silte arenoargiloso	5	9	19	3,33	160	4	214,88	113,10	441,46	656,34	328,17
Silte arenoargiloso	2	10	19	3,43	160	4	214,88	129,25	570,71	785,60	392,80
Silte arenoargiloso	2	11	19	3,63	160	4	214,88	150,33	721,04	935,92	467,96
Silte arenoargiloso	3	12	19	3,44	160	4	214,88	155,82	876,86	1091,74	545,87
Silte arenoso	8	13	19	3,30	160	4	214,88	161,73	1038,59	1253,47	626,74
Silte arenoso	55	14	19	3,27	160	4	214,88	172,73	1211,32	1426,20	713,10

Fonte: Autora, 2022.

onde:

N<sub>p</sub> = valor médio do índice de resistência à penetração, medido em um intervalo de quatro diâmetros acima da ponta e um diâmetro abaixo;

N<sub>L</sub> = valor médio do N<sub>SPT</sub> ao longo do fuste da estaca;

$\alpha$  e  $\beta$  = valores tabelados que variam com o tipo de solo e o tipo de estaca e minoram as resistências laterais e de ponta das mesmas;

R<sub>p</sub> = resistência de ponta;

R<sub>L</sub> = resistência de atrito lateral;

R<sub>adm</sub> = resistência admissível.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo proposta por e dada pela relação entre a soma da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 14 m de profundidade, é de.

Dessa forma, conclui-se que a resistência total admissível do solo do SPT 03, proposta por Teixeira e dada pela relação entre o somatório da resistência de ponta e resistência de atrito lateral e o fator de segurança, a 14 m de profundidade, é de 797,92 kN. Ou seja, o solo em questão, nessa profundidade, possui a capacidade de resistir ao equivalente a, aproximadamente, 80 toneladas.

## 6.4 Análise e comparação das metodologias

Após a realização dos cálculos de capacidade de carga, os gráficos obtidos na comparação dos três métodos para os três furos de sondagem SPT serão analisados, para enfim observar a discrepância entre os métodos e eleger qual deles é o mais eficiente. Para isso, é preciso observar as curvas obtidas através dos gráficos que relacionarão os valores da carga admissível em função da profundidade.

### 6.4.1 Capacidade de Carga para o SPT 01

Para o SPT 01, tem-se a Tabela 16 exposta a seguir, onde há as curvas obtidas através dos resultados dos cálculos de capacidade de carga dos métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira.

Tabela 16 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 01

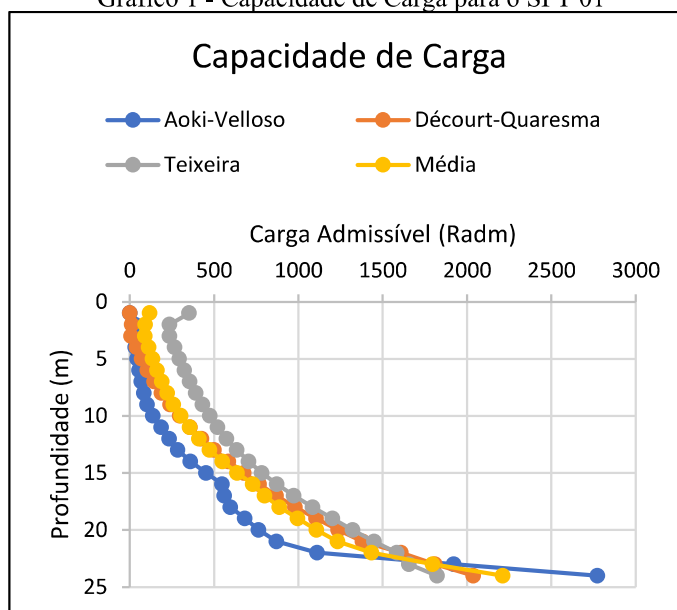
Profundidade	Carga Geotécnica Admissível (kN)			
	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
1	0,00	0,00	352,02	117,34
2	29,12	10,60	234,68	91,47
3	24,46	7,07	234,68	88,73
4	32,37	39,19	264,84	112,13
5	42,27	69,82	293,11	135,07
6	54,15	104,54	323,27	160,65
7	68,00	143,85	356,26	189,37
8	83,83	187,95	392,45	221,41
9	101,65	238,73	432,03	257,47
10	136,64	296,23	475,12	302,66
11	185,48	358,73	521,77	355,33
12	232,98	425,84	574,55	411,12
13	284,44	500,61	635,81	473,62
14	359,01	584,71	705,38	549,70
15	453,38	676,31	783,14	637,61
16	548,38	767,77	871,29	729,15
17	560,82	867,33	972,00	800,05
18	596,45	980,19	1085,10	887,25
19	682,26	1104,97	1201,50	996,24
20	763,00	1236,39	1321,25	1106,88
21	869,26	1380,41	1448,80	1232,82
22	1110,73	1607,69	1584,12	1434,18
23	1920,09	1809,11	1656,02	1795,07
24	2771,85	2037,51	1821,89	2210,42

Fonte: Autora, 2022.

A partir da Tabela 16, obtém-se a média entre os métodos, onde, na profundidade 24, a média obtida é de 2210,42. Observa-se, através dela, que o valor médio obtido está mais próximo da carga encontrada com o método de Décourt-Quaresma e mais distante da carga encontrada com o método de Aoki-Velloso. Diante disso, tem-se então o gráfico da capacidade de carga para o SPT 01, conforme demonstrado no Gráfico 1.



Gráfico 1 - Capacidade de Carga para o SPT 01



Fonte: Autora, 2022.

A partir da observação do Gráfico 1, nota-se que a menor carga admissível foi a da metodologia de Teixeira, onde há uma discrepância de 11% com a carga admissível de Décourt-Quaresma e de 34% com a carga admissível de Aoki-Velloso. Assim, para o caso de grande discrepância, toma-se os valores mais críticos (menores) entre os métodos. Diante disso, a metodologia que possui as menores cargas, ou seja, a que está em uma situação mais crítica em relação ao todo, é a metodologia de Teixeira.

Segundo os autores Cruz *et al* (CRUZ; ALVES, 2018), que fez uma análise, utilizando métodos semiempíricos, da capacidade de carga em fundações profundas, verificou, em seus cálculos, que o método de Décourt-Quaresma e Teixeira se mostraram os mais eficientes em comparação aos demais. Unidos ao resultado obtido no ensaio SPT 01, conclui-se então que, para este furo, o método de Teixeira mantém-se como o mais eficiente entre os três pois, ao possuir os menores valores, torna-se mais favorável utilizá-lo, reduzindo a chance de erro no cálculo da capacidade de carga da estrutura de fundação.

#### 6.4.2 Capacidade de Carga para o SPT 02

Para o SPT 02, tem-se a Tabela 17 exposta a seguir, onde há as curvas obtidas através dos resultados dos cálculos de capacidade de carga dos métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira.

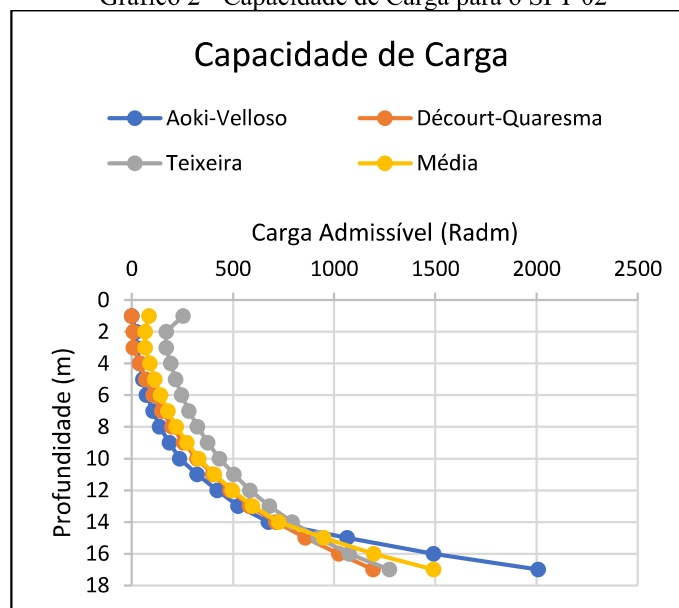
Tabela 17 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 02

<b>Carga Geotécnica Admissível (kN)</b>				
<b>Profundidade</b>	<b>Aoki-Velloso</b>	<b>Décourt-Quaresma</b>	<b>Teixeira</b>	<b>Média</b>
1	0,00	0,00	254,47	84,82
2	21,84	7,95	169,65	66,48
3	22,48	7,07	169,65	66,40
4	39,65	38,64	192,27	90,19
5	54,50	68,49	215,83	112,94
6	72,31	104,97	245,99	141,09
7	105,32	147,83	282,27	178,48
8	136,99	198,74	324,50	220,08
9	186,82	255,64	375,39	272,62
10	236,30	323,66	434,63	331,53
11	323,10	400,56	504,61	409,43
12	423,41	486,19	585,03	498,21
13	526,33	583,07	680,60	596,67
14	675,47	711,77	793,36	726,87
15	1065,66	857,95	922,95	948,85
16	1491,15	1023,99	1073,74	1196,29
17	2008,22	1193,64	1272,88	1491,58

Fonte: Autora, 2022.

A partir da Tabela 17, obtém-se a média entre os métodos, onde, na profundidade 17, a média obtida é de 1491,58. Observa-se, através dela, que o valor médio obtido está mais próximo da carga encontrada com o método de Teixeira e mais distante da carga encontrada com o método de Aoki-Velloso. Diante disso, tem-se então o gráfico da capacidade de carga para o SPT 02, conforme demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Capacidade de Carga para o SPT 02



Fonte: Autora, 2022.

A partir da observação do Gráfico 2, nota-se que a menor carga admissível foi a da metodologia de Décourt-Quaresma, onde há uma discrepância de 6% com a carga admissível de Teixeira e de 41% com a carga admissível de Aoki-Velloso. Assim, para o caso de grande discrepância, toma-se os valores mais críticos (menores) entre os métodos. Diante disso, a metodologia que possui as menores cargas, ou seja, a que está em uma situação mais crítica em relação ao todo, é a metodologia de Décourt-Quaresma.

Segundo Mucci *et al* (MUCCI et al., 2019), que fez uma análise, utilizando métodos semiempíricos, da capacidade de carga em fundações profundas, verificou, em seus cálculos, que o método de Décourt-Quaresma se mostrou o mais eficiente em comparação aos demais. Diante disso, é possível observar e eleger que, para o SPT 02, o método mais eficiente foi o de Décourt-Quaresma, pois, ao possuir os menores valores, torna-se mais favorável utilizá-lo, reduzindo a chance de erro no cálculo da capacidade de carga da estrutura de fundação.

#### 6.4.3 Gráfico da Capacidade de Carga para o SPT 03

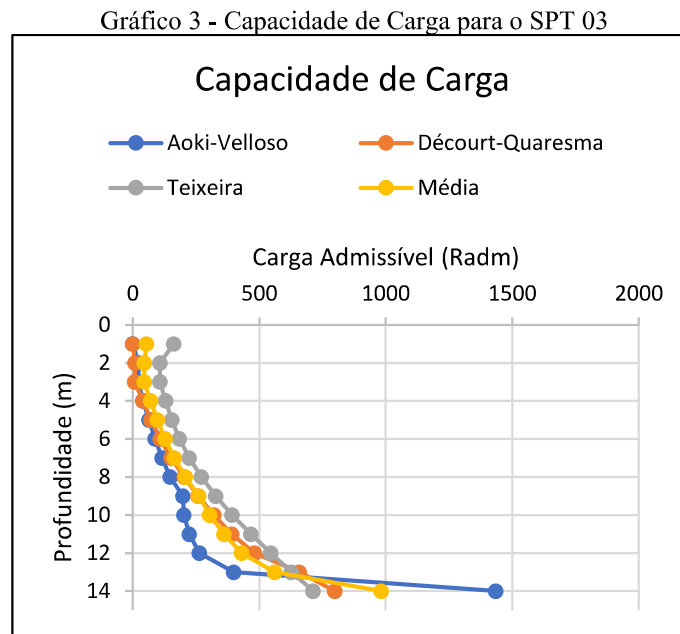
Para o SPT 03, tem-se a Tabela 18 exposta a seguir, onde há as curvas obtidas através dos resultados dos cálculos de capacidade de carga dos métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira.

Tabela 18 - Tabela de Carga Geotécnica Admissível para SPT 03

<b>Carga Geotécnica Admissível (kN)</b>				
<b>Profundidade</b>	<b>Aoki-Velloso</b>	<b>Décourt-Quaresma</b>	<b>Teixeira</b>	<b>Média</b>
1	0,00	0,00	161,16	53,72
2	21,84	7,95	107,44	45,75
3	22,48	7,07	107,44	45,66
4	39,65	40,41	130,06	70,04
5	64,75	72,02	153,62	96,80
6	88,50	108,50	183,78	126,93
7	116,21	151,39	223,37	163,65
8	147,87	203,80	271,62	207,76
9	197,71	258,46	328,17	261,45
10	201,60	320,56	392,80	304,99
11	223,37	391,43	467,96	360,92
12	264,29	481,00	545,87	430,39
13	399,06	658,28	626,74	561,36
14	1435,35	798,30	713,10	982,25

Fonte: Autora, 2022.

A partir da Tabela 18, obtém-se a média entre os métodos, onde, na profundidade 14, a média obtida é de 982,25. Observa-se, através dela, que o valor médio obtido está mais próximo da carga encontrada com o método de Décourt-Quaresma e mais distante da carga encontrada com o método de Aoki-Velloso. Diante disso, tem-se então o gráfico da capacidade de carga para o SPT 03, conforme demonstrado no Gráfico 3.



Fonte: Autora, 2022.

A partir da observação do Gráfico 3, nota-se que a menor carga admissível foi a da metodologia de Teixeira, onde há uma discrepância de 11% com a carga admissível de Décourt-Quaresma e de 50% com a carga admissível de Aoki-Velloso. Assim, para o caso de grande discrepância, toma-se os valores mais críticos (menores) entre os métodos. Diante disso, a metodologia que possui as menores cargas, ou seja, a que está em uma situação mais crítica em relação ao todo, é a metodologia de Teixeira.

Segundo o autor Fonseca (FONSECA, 2021), que fez uma análise, utilizando métodos semiempíricos, da capacidade de carga em fundações profundas, verificou, em seus cálculos, que o método de Teixeira se mostrou o mais eficiente em comparação aos demais. Diante disso, é possível observar que, para o SPT 03, o método mais eficiente foi o de Teixeira, pois, ao possuir os menores valores, torna-se mais favorável utilizá-lo, reduzindo a chance de erro no cálculo da capacidade de carga da estrutura de fundação.

#### 6.4.4 Escolha do método mais eficiente

A partir da análise dos gráficos obtidos na comparação dos três métodos para os três furos de sondagem SPT, pôde-se eleger qual dos métodos utilizados é o mais eficiente. Para isso, foram observadas as curvas obtidas através dos valores da carga admissível em função da profundidade. Assim, ao fazer a análise dos gráficos, foi possível observar quais métodos mais se aproximaram da curva média e quais métodos foram mais críticos, para que, em seguida, tornasse possível a escolha do mais eficiente entre eles.

De acordo com o Gráfico 1 do SPT 01, o método que mais se aproxima da curva média é o de Décourt-Quaresma e o valor mais crítico encontrado foi o de Teixeira, o que o torna, assim, o método mais eficiente observado nessa sondagem. De acordo com o Gráfico 2 do SPT 02, o método que mais se aproxima da curva média é o de Teixeira e o valor mais crítico encontrado foi o de Décourt-Quaresma, o que o torna, assim, o método mais eficiente observado nessa sondagem. De acordo com o Gráfico 3 do SPT 03, o método que mais se aproxima da curva média é o de Décourt-Quaresma e o valor mais crítico encontrado foi o de Teixeira, o que o torna, assim, o método mais eficiente observado nessa sondagem.

Dentre os três gráficos (Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3), somente o Gráfico 3, referente ao SPT 02, eleger o método Décourt-Quaresma como o mais eficiente. Dessa forma, ao analisar o relatório de sondagem para o SPT 02, observa-se que, diferente das outras duas sondagens, o SPT 02 não possui camada de silte arenoargiloso fofo e sim medianamente compacto e compacto, o que torna seu  $N_{SPT}$  sempre crescente.

Já para a sondagem dos furos SPT 01 e SPT 03, a camada de silte arenoargiloso varia entre solo fofo, pouco compacto e novamente fofo, o que os difere do SPT 02, que apresenta variação de solo de fofo para pouco compacto, medianamente compacto e, finalmente, compacto. Por ser um solo mais compacto que os outros, o SPT 02 foi o único solo que, através do gráfico de capacidade de carga, eleger o método de Décourt-Quaresma como o mais eficiente.

Assim, de modo geral, elege-se como mais eficiente o método proposto por Teixeira (1996). Para maior veracidade entre os fatos, Sousa (2019) assume que a metodologia de Teixeira foi a mais eficiente pois, além de apresentar valores próximos à média, é um método mais recente que os outros. Cruz e Alves (2018) também afirma que o método de Teixeira, juntamente com o de Décourt-Quaresma, são os que mais se aproximam dos resultados reais pois fornecem valores de ruptura próximos ao encontrado na prova de carga.

Conforme Fonseca (2021), através de suas análises, afirma que, para o método de Teixeira, a tensão obtida cresce à medida que o  $N_{SPT}$  aumenta. Afirma também que este método exibe uma taxa de 40% de erros médios, ajudando a torna-lo o método mais eficiente.

Por último, o presente trabalho comprovou a afirmação feita por Sousa (2019), Cruz e Alves (2018) e Fonseca (2021) ao fazer a análise do ensaio SPT através dos métodos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira.

Entretanto, ao final dessa avaliação, tem-se o seguinte questionamento: Por que se fez necessário um estudo para a escolha de um método mais eficiente? Porque, conforme Strada e Souza Júnior (2021), conhecer a resistência do solo em questão é importante na elaboração e execução de projetos geotécnicos, pois ao se obter esse conhecimento, torna-se possível dimensionar corretamente as fundações e, também, tomar decisões que sejam coerentes para as futuras construções.

Dessa forma, de acordo com Silva (2016), devido à essa necessidade de reconhecimento do solo, é importante que sejam realizados ensaios e estudos com o objetivo de analisar e determinar o tipo de solo e a sua resistência. Assim, o ensaio SPT, se realizado de forma correta, é capaz de cumprir esse propósito, o que será de grande valia para a obtenção da correta capacidade de carga de fundações.

A partir disso, tem-se a Tabela XX, que mostra a eficiência e a ineficiência de cada metodologia para o solo em questão.

Tabela 19 - Análise do perfil do solo

<b>Metodologia</b>	<b>Eficiente</b>	<b>Ineficiente</b>
Aoki-Velloso (1975)	Siltes de consistências fofa, pouco compacta e medianamente compactas.	Siltes de consistência compacta e muito compacta.
Décourt-Quaresma (1978)	Siltes de consistência compacta e muito compacta.	Siltes de consistências fofa, pouco compacta e medianamente compactas.
Teixeira (1996)	Siltes de consistência compacta e muito compacta.	Siltes de consistências fofa, pouco compacta e medianamente compactas.

Fonte: Autora, 2022.

Ao analisar a Tabela XX, observa-se que o método de Aoki-Velloso é eficiente para solos de consistência fofa, enquanto os outros são eficientes para solos de consistência dura. Entretanto, ao fazer a análise total do perfil do solo em questão, a metodologia de Teixeira é a mais eficiente entre as três, pois, apesar de não ser eficiente para as regiões em que o solo tem consistência fofa, é a mais eficiente para as regiões em que o solo tem consistência mais compacta, o que acaba por suprimir a deficiência nas regiões de solo fofo.

## 7 CONCLUSÃO

Ao longo de todo o trabalho, foram apresentados resultados de cálculos da capacidade de carga em fundações profundas na cidade de Tasso Fragoso-MA, cujo solo de sondagem é composto, basicamente, por silte arenoargiloso, desde fofo a compacto, silte arenoso e silte argiloarenoso de consistência média e dura. Os resultados obtidos, em relatório, de sondagens SPT foram aplicados nas metodologias de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996) para realização dos cálculos de capacidade de carga de fundações profundas.

De acordo com o que foi calculado, o método de Aoki-Velloso foi o mais ineficiente e conservador, com carga admissível de 2771,85 kN para o SPT 01, 2008,22 kN para o SPT 02 e 1435,35 kN para o SPT 03. Dois dos três furos de sondagem SPT, sendo eles SPT 01 e SPT 03, elegeram o método de Teixeira como o mais eficiente, com carga admissível de 1821,89 kN e 713,10 kN, respectivamente. Somente o SPT 02 elegeu Décourt-Quaresma como o método mais eficiente, com uma carga admissível de 1193,64 kN, pelo fato de o solo em questão ser mais resistente (duro) em comparação ao solo dos outros furos de sondagem SPT.

Em suma, tem-se que o método de Teixeira torna-se o mais eficiente entre os três métodos, principalmente se o solo em questão apresentar uma consistência mais fofo. Em contrapartida, o método mais ineficiente, por unanimidade, foi o de Aoki-Velloso, apresentando valores mais discrepantes, em relação à média, em comparação aos métodos de Décourt-Quaresma e Teixeira. Portanto, podemos concluir que, para um perfil de solo predominante em silte arenoargiloso variando de consistência fofo a pouco compacto, o método que mais se mostra eficiente é o método de Teixeira (1996).

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT -Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6122: Projeto e execução de fundações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles.** In: PAN AMERICAN CSMFE, 5., 1975, Buenos Aires. Proceeding. Buenos Aires, 1975. v 1, p367-376
- ARAÚJO, W. S.; *et al.* **Comparativo entre as fundações profundas estaca escavada hélice contínua, visando a viabilidade econômica, executacional e segurança estrutural.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, ed. 12, v. 08, p. 119-143, Dezembro de 2018. ISSN: 2448-0959.
- BORGATTO, A. V. A. **Mecânica dos Solos.** Rio de Janeiro: Estácio, 2017.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas: Projeto Geotécnico.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 96.
- CRUZ, D. A. S; ALVES, M. V. **Análise de prova de carga bidirecional através dos métodos analíticos de cálculo de capacidade de carga.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2018.
- DECOURT., L.; QUARESMA, R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT.** In: Anais do CBMSEF. Rio de Janeiro, 1978. v. 1, p. 45 – 53.
- FALCONI, F.; *et al.* **Fundações - teoria e prática.** São Paulo: Editora Pini, 2019. p. 751.
- FERREIRA, T. R.; *et al.* **Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas.** In: REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Goiânia, v. 8, n. 3, 2014.
- FONSECA, A. T. **Análise de métodos de estimativa de capacidade de carga e tensão admissível a partir de ensaios de prova de carga em placa de solo arenoso.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- GALVÃO, B. B; *et al.* **Importância da sondagem SPT na construção civil: tipos de sondagem, seus métodos e utilidades.** In: Pesquisa e Ação. v. 5, n. 2, p. 173-178, 2019.
- GOUVEIA, L. A. **Análise comparativa da capacidade de carga de estacas hélice contínua por meio de provas de carga e por métodos semiempíricos.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2018.



LOPES, L.; MENDES, L. **Análise de solo por meio de sondagem SPT: Estudo de caso de uma residência de dois pavimentos em ambiente urbano.** FEPESMIG, 2020. p.1.

MAGALHÃES, J. L.; SEGRE, T. S. P.; URBAN, R. C. **Importância de ensaios geotécnicos em obras de pequeno porte: uma abordagem estatística multivariada.** In: Integração Engenharia. v. 1, n. 1, p. 1-6, 2020.

MAICÁ, V. M. O.; *et al.* **Análise de diferentes metodologias de sondagens geotécnicas.** In: Salão do Conhecimento. Rio Grande do Sul, 2020. p. 1-6.

MALLMANN, A. M. **Análise de capacidade de carga em fundações profundas estudo de caso com utilização de planilha eletrônica para definição de soluções viáveis técnica e economicamente.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2018.

MARANGON, M. **Unidade 6: Capacidade de Carga de Fundações Profundas.** 2018. Apostila de Geotecnia de Fundações – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, MG, 2018.

MIGUEL, M. G. **Adaptação de métodos semi-empíricos para estimar a capacidade de carga de estacas de pequeno diâmetro no solo de Londrina, Estado do Paraná.** In: Acta Sci. Technol. v. 27, n. 2 p. 155–165. Maringá, 2005.

MONTEIRO, T. M.; *et al.* **Análise de métodos semi-empíricos nacionais e internacionais para determinação da capacidade de carga axial em estacas tipo raiz.** In: Revista Tecnologia. v. 38, n. 22 p. 1–16. Fortaleza, 2017.

MOREIRA, C. V. **Análise da confiabilidade de fundações por estacas do tipo hélice contínua através da previsão da capacidade de carga por métodos semi-empíricos.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019.

MUCCI, L. M. **Análise de métodos semi-empíricos segundo provas de carga instrumentadas em estaca hélice contínua.** 2019. Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019.

NOGUCHI, L. T. (2012). **Análise da capacidade de carga de fundação por sapatas executadas na cidade de São Caetano do Sul/SP.** 2012. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2012.

PENHA, A. V. C.; CARDOSO, B. C. (2021). **A importância de sondagem de solos na construção civil publicação.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Unievangélica, Ceres, 2021.

PEREIRA, P. S. **Comparação dos métodos semi-empíricos para previsão da capacidade de carga de estaca hélice contínua com resultado de prova de carga.** 2019. Trabalho de

Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2019.

PLASENCIA, N. **A geologia de engenharia em obras subterrâneas**. Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2003.

SILVA, L. M. C. **Análise de métodos semi-empíricos aplicados ao dimensionamento de estacas**. 2016. Monografia de Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

SOUSA, V. B. P. **Análise da capacidade de carga e recalque das fundações de um edifício em solo da região de Uberlândia/MG**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

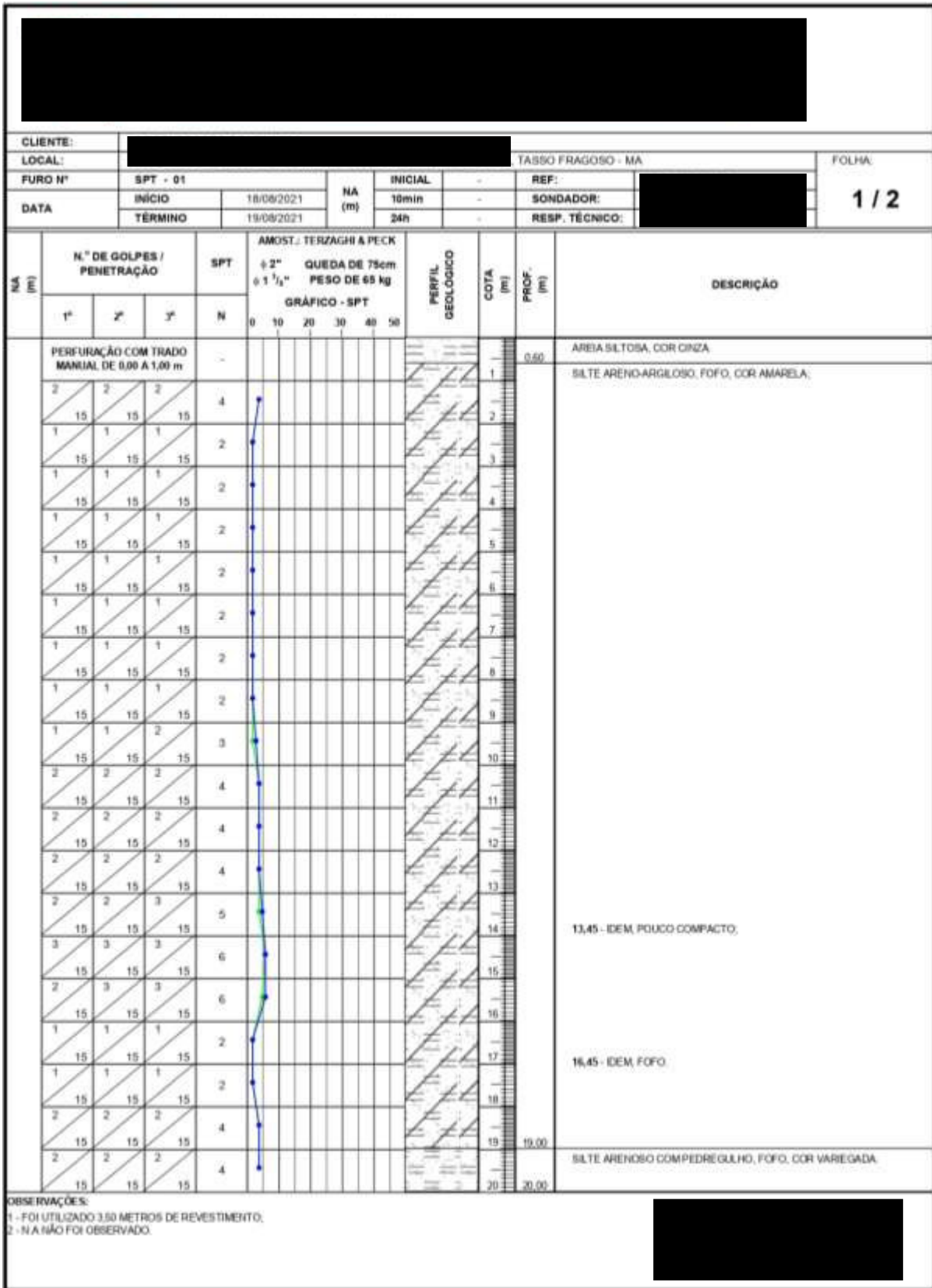
STRADA, B; SOUZA JÚNIOR, A. C. **Uso do DPL e SPT para obtenção de capacidade de carga de fundações diretas**. 2021. In: Judicare. Mato Grosso, 2021.

TEIXEIRA, A. H. **Projeto de execução de fundações**. *SEFE*, 3, v. 1, São Paulo, 1996.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. (2011). **Fundações: Critérios de projeto, Investigação do subsolo, Fundações superficiais, Fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

ANEXO

ANEXO A



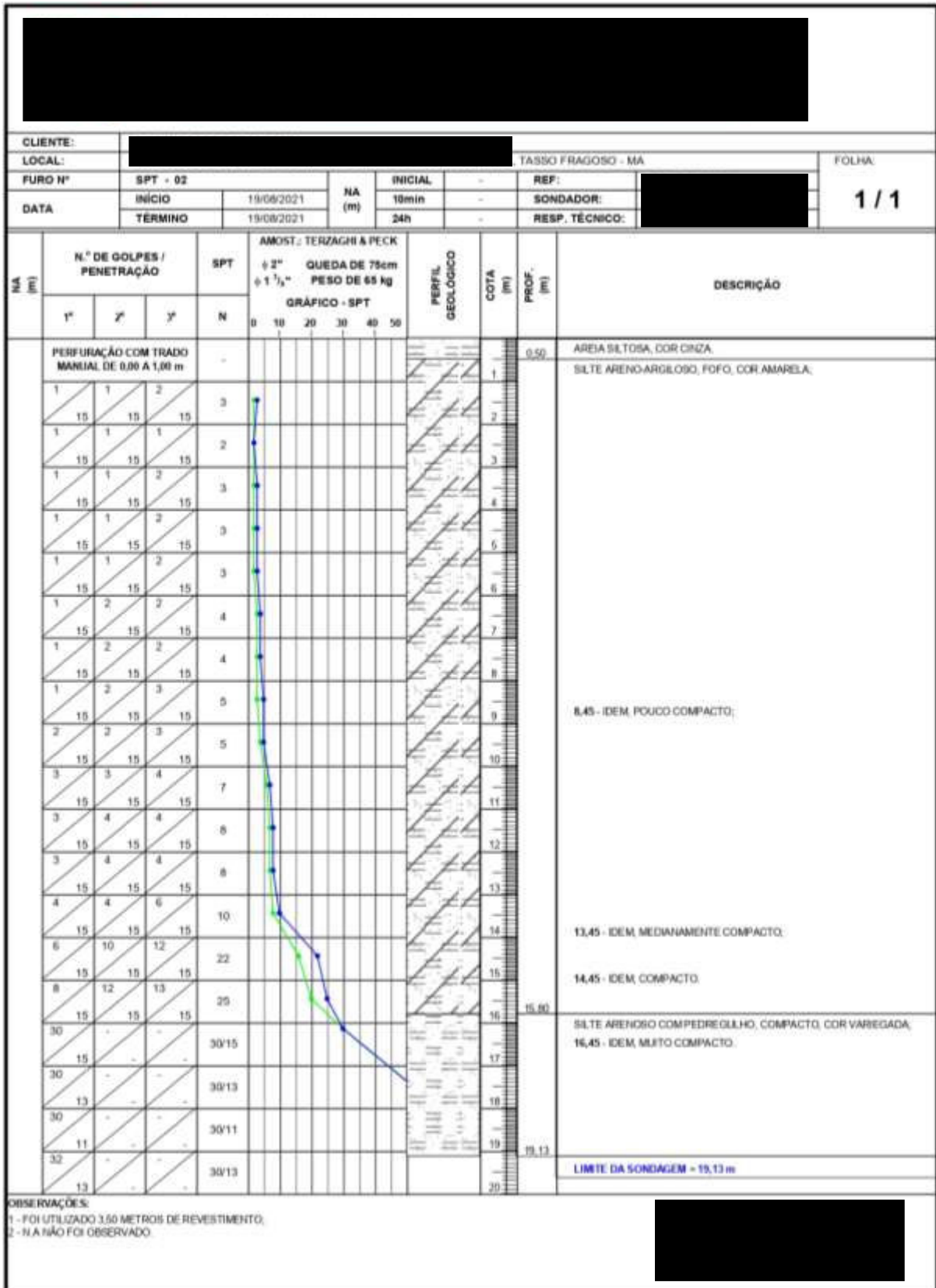
CLIENTE:						TASSO FRAGOSO - MA		FOLHA:	
LOCAL:								<b>2 / 2</b>	
FURO Nº	SPT - 01		NA (m)	INICIAL	-	REF:			
DATA	INÍCIO	18/08/2021		19min	-	SONDADOR:			
	TÉRMINO	19/08/2021	24h	-	RESP. TÉCNICO:				

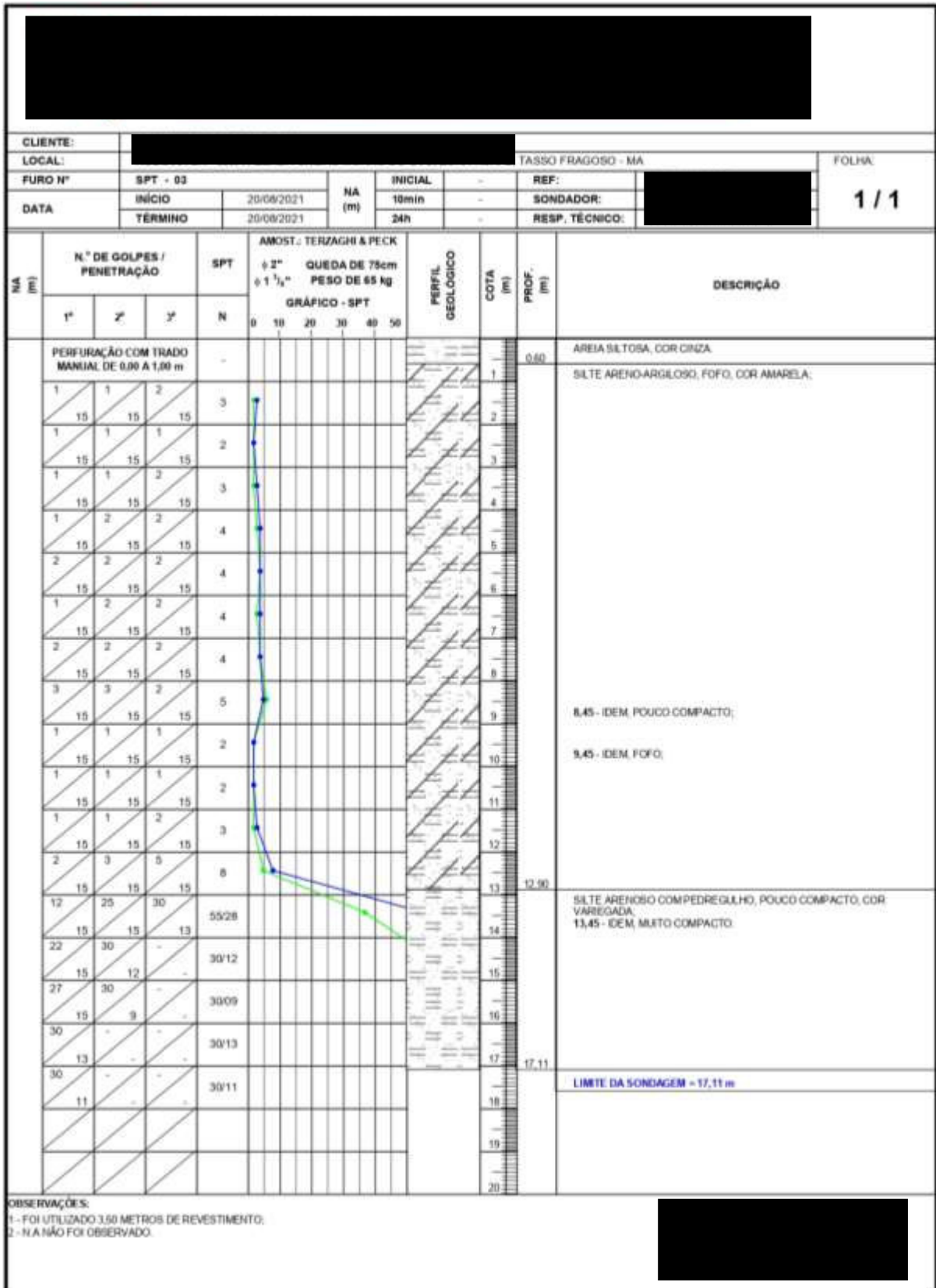
NA (m)	N.º DE GOLPES / PENETRAÇÃO			SPT N	AMOST.: TERZAGHI & PECK ø 2" QUEDA DE 75cm ø 1 1/2" PESO DE 65 kg GRÁFICO - SPT	PERFIL GEOLÓGICO	COTA (m)	PROF. (m)	DESCRIÇÃO
	1º	2º	3º						
2	2	3		5					SILTE ARENOSO COM PEDREGULHO, POUCO COMPACTO, COR VAREGADA.
3	4	6	10	21,45 - ISEM, MEDIANAMENTE COMPACTO.					
15	23	30	53	SILTE ARGILO-ARENOSO, CONSISTÊNCIA MÉDIA, COR VAREGADA.					
18	29	30	59/25	21,45 - ISEM, CONSISTÊNCIA DURA.					
21	30	-	30/13						
23	30	-	30/14						
26	30	-	30/10						
27	10	-		LIMITE DA SONDAGEM = 26,25 m					
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

OBSERVAÇÕES:  
 1 - FOI UTILIZADO 3,50 METROS DE REVESTIMENTO.  
 2 - N.A NÃO FOI OBSERVADO.

ANEXO B



ANEXO C





# APÊNDICE B

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	<b>Método Décourt-Quaresma (1978)</b>												
2	<b>Dados para cálculo</b>												
3	Estaca	Tipo	Diâmetro (m)	Área da base (m <sup>2</sup> )	Área Lateral (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Comprimento (m)						
4													
5													
6													
7	<b>Resultados</b>												
8	Profundidade (m)	N <sub>p</sub>	N <sub>L</sub>	α (%)	β (%)	C	r <sub>p</sub>	r <sub>L</sub>	Γ <sub>Acumulada</sub>	Γ <sub>TOTAL</sub>	Γ <sub>adm1</sub>	Γ <sub>adm2</sub>	Γ <sub>adm</sub>
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													



APÊNDICE C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Método Teixeira (1996)</b>									
2	<b>Dados para cálculo</b>									
3	Estaca	Tipo	Diâmetro (m)	Área da base (m <sup>2</sup> )	Área Lateral (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Comprimento (m)			
4										
5										
6										
7	<b>Resultados</b>									
8	Profundidade (m)	N <sub>p</sub>	N <sub>L</sub>	α (kPa)	β (kPa)	r <sub>p</sub>	r <sub>L</sub>	r <sub>L</sub> Acumulada	Γ <sub>TOTAL</sub>	r <sub>adm</sub>
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

# APÊNDICE D

