

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**NATHANA LARISSA LIMBERGER**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA SELEÇÃO E PRÉ-  
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES COM ÊNFASE EM ESTACAS DO TIPO  
PRÉ-MOLDADAS, FRANKI, HÉLICE CONTÍNUA E ESCAVADAS COM FLUIDO  
ESTABILIZANTES**

**PATO BRANCO**

**2024**

**NATHANA LARISSA LIMBERGER**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA SELEÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES COM ÊNFASE EM ESTACAS DO TIPO PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO, FRANKI, HÉLICE CONTÍNUA E ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTES.**

**Development of a program for selection and pre-dimensioning of foundations with an emphasis on precast concrete, franki, continuous auger and excavated piles with stabilizing fluid.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim

**PATO BRANCO**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**NATHANA LARISSA LIMBERGER**

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA PARA SELEÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES COM ÊNFASE EM ESTACAS DO TIPO PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO, FRANKI, HÉLICE CONTÍNUA E ESCAVADAS COM FLUIDO ESTABILIZANTES.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21/junho/2024

---

Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim  
Doutorado em Engenharia Civil - UEL  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Normélio Vitor Fracaro  
Mestrado em Ciência do Solo - UFPR  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Danilo Rinaldi Bisconsini  
Doutorado em Engenharia de Transportes - USP  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**

**2024**

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão contemplar a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Primeiramente agradeço aos meus pais, Alex e Carla, e meu irmão Pedro, pois sem o constante apoio e motivação deles durante todo o processo de faculdade, nada disso seria possível.

A minha vó Maria Clarice, que sempre esteve presente na trajetória, e mesmo de longe, vibrando por cada vitória e apoiando em todos os momentos.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim, por cada minuto disponibilizado para me orientar, auxiliar, e me encaminhar, sendo fundamental para escolha e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Mateus Malagoli Garbellotto que me forneceu suporte e recursos para dar sequência em seu trabalho.

Todo o meu reconhecimento aos demais membros de minha família, pois com eles o processo foi possível de ser concluído com sucesso.

Por fim, agradeço todas aquelas pessoas que, por menor que tenha sido a participação nesse trabalho, tenham me auxiliado e me incentivado a seguir no caminho da Engenharia Civil.

Para ser grande, sê inteiro. Nada teu  
exagera ou exclui. Sê todo em cada coisa. Põe  
quanto és no mínimo que fazes. Assim em cada  
lago a lua toda brilha, porque alta vive.  
(Fernando Pessoa).

## RESUMO

A incessante necessidade de economia de tempo e recursos financeiros na indústria da construção civil, visando atender tanto às demandas dos clientes quanto das empresas construtoras, é um fato recorrente. Para garantir a satisfação dos clientes e evitar problemas na qualidade da obra, é fundamental utilizar métodos eficientes de gerenciamento. A comparação interativa entre os tipos de estacas é uma abordagem que auxilia na seleção da fundação mais adequada, minimizando potenciais falhas estéticas e estruturais na estrutura a qual a fundação dará suporte. Neste trabalho foram abordados métodos semiempíricos, para dimensionamento de fundações, consagrados como de Aoki-Velloso e Cintra-Aoki. Inserindo no programa informações básicas como dados de sondagem SPT e os dados dos pilares a serem dimensionados, é possível obter automaticamente um relatório em pdf com os dados do pré-dimensionamento para estacas pré-moldadas, escavadas com fluido estabilizante, hélice contínua e Franki, bem como previsões de recalque. O objetivo principal deste estudo é desenvolver um programa computacional que ofereça suporte ao usuário na tomada de decisão para escolha da fundação mais adequada, ou seja, contribuir para que acadêmicos e engenheiros encontrem as melhores soluções geotécnicas para cada situação.

Palavras-chave: fundações; programa computacional; estaca pré-moldada; estaca hélice contínua; estaca escavada com fluido estabilizante; estaca Franki;

## **ABSTRACT**

The incessant need to save time and financial resources in the construction industry, aiming to meet both the demands of customers and construction companies, is a recurring fact. To ensure customer satisfaction and avoid problems with the quality of the work, it is essential to use efficient management methods. Interactive comparison between types of piles is an approach that helps select the most appropriate foundation, minimizing potential aesthetic and structural flaws in the structure that the foundation will support. In this work, semi-empirical methods for dimensioning foundations, established as Aoki-Velloso and Cintra-Aoki, were discussed. By inserting basic information such as SPT survey data and data on the columns to be sized into the program, it is possible to automatically obtain a PDF report with pre-sizing data for precast piles, excavated with stabilizing fluid, continuous helix and Franki, as well as settlement forecasts. The main objective of this study is to develop a computer program that offers support to the user in decision-making to choose the most appropriate foundation, that is, to help academics and engineers find the best geotechnical solutions for each situation.

Keywords: foundations; computer program; precast concrete; continuous auger; Franki; excavated piles with stabilizing fluid.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Estacas pré-moldadas de concreto .....   | 18 |
| Figura 2: Pontas para estacas pré-moldadas .....   | 19 |
| Figura 3 - Processo executivo da Estaca Franki .....   | 20 |
| Figura 4: Detalhe dos equipamentos empregados na execução da estaca hélice contínua .....  | 21 |
| Figura 5: Esquema executivo da Estaca hélice contínua .....  | 22 |
| Figura 6: Execução de estaca escavada com fluido estabilizante.....  | 23 |
| Figura 7: Consequências indesejáveis em projetos de fundações .....  | 26 |
| Figura 8: Estaca ou tubulão submetido à carga de ruptura de compressão .....   | 28 |
| Figura 9: Padronização de geometria de blocos de coroamento para até 4 estacas .....   | 35 |
| Figura 10: Parcelas de recalque da estaca .....  | 36 |
| Figura 11: Propagação de tensões devido à reação de ponta .....  | 37 |
| Figura 12: Propagação de tensões devido às cargas laterais.....  | 38 |
| Figura 13: Obtenção dos parâmetros.....  | 40 |
| Figura 14: Fator de distribuição de atrito.....  | 42 |
| Figura 15: Parcelas de recalque da estaca (a) estaca descarregada e sem recalque; (b) recalque após a aplicação do carregamento..... | 44 |
| Figura 16: Diagrama de esforço normal da Estaca. ....  | 45 |
| Figura 17: Fórmula "=SE" para análise da sondagem e checklist .....  | 52 |
| Figura 18: Conjunto de opções de respostas para o questionário.....  | 53 |
| Figura 19: Detalhe da Quadra 1540, onde é possível observar (em amarelo) a localização dos lotes .....                               | 59 |
| Figura 20: Declividade do terreno.....   | 60 |
| Figura 21: Dados SPT conforme laudo de sondagem .....  | 61 |
| Figura 22: Checklist de auxílio para determinação no tipo de estaca .....  | 62 |
| Figura 23: resultado de análise de sondagem e checklist .....  | 62 |
| Figura 24: Dados estruturais.....  | 63 |
| Figura 25: Dimensionamento .....   | 63 |
| Figura 26: Resultado do dimensionamento .....  | 64 |
| Figura 27: Recalques imediatos e por adensamento .....   | 64 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Principais tipos de estacas pré-moldadas disponíveis no mercado..                         | 24 |
| Tabela 2: Principais tipos de estaca escavada com fluido estabilizante disponíveis no mercado ..... | 24 |
| Tabela 3: principais tipos de estaca Franki disponíveis no mercado .....                            | 25 |
| Tabela 4: principais tipos de estaca hélice contínua disponíveis no mercado ..                      | 25 |
| Tabela 5: Coeficiente K e razão de atrito.....  | 29 |
| Tabela 6: Fatores de Correção F1 e F2.....  | 30 |
| Tabela 7: Valores do fator $\alpha$ em função do tipo de estaca e do tipo de solo .....             | 31 |
| Tabela 8: Valores do fator $\beta$ em função do tipo de estaca e do tipo de solo .....              | 31 |
| Tabela 9: Valores do parâmetro $\alpha$ .....   | 32 |
| Tabela 10: Valores do parâmetro $\beta$ .....   | 32 |
| Tabela 11: Estaca pré-moldada de concreto.....  | 34 |
| Tabela 12: Valor de Cp utilizados no método de Vésic (1969,1975) .....                              | 43 |
| Tabela 13: Valores de Ep para diferentes tipos de estacas .....                                     | 44 |
| Tabela 14: Valor de E0 sugeridos .....  | 45 |
| Tabela 15: Estados de compactidade e resistência de uma amostra de solo ....                        | 48 |
| Tabela 16: Tipos de Solo utilizados no programa .....   | 51 |
| Tabela 17: Diâmetro da estaca escavada e respectiva carga de catálogo .....                         | 54 |
| Tabela 18: Diâmetros da estaca hélice contínua e respectiva carga de catálogo .....                 | 54 |
| Tabela 19: Diâmetros da estaca Franki e respectiva carga de catálogo .....                          | 54 |
| Tabela 20: Diâmetros da estaca pré-moldada e respectiva carga de catálogo..                         | 55 |
| Tabela 21: Valores de $N_{lim}$ para cada tipo de estaca .....                                      | 56 |
| Tabela 22: Resultado da pesquisa de mercado na cidade de Pato Branco-PR.                            | 58 |

## SUMÁRIO

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.1</b>     | <b>Objetivos .....</b>  | <b>14</b> |
| 1.1.1          | Objetivo Geral.....   | 14        |
| 1.1.2          | Objetivos específicos.....  | 14        |
| <b>1.2</b>     | <b>Justificativa.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2</b>       | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>Definições .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.2.</b>    | <b>Tipos de estacas abordadas neste trabalho .....</b>                                  | <b>17</b> |
| 2.2.1          | Estaca pré-moldada de concreto.....   | 17        |
| 2.2.2          | Estaca Franki.....  | 19        |
| 2.2.3          | Estaca Hélice Contínua .....  | 21        |
| 2.2.4          | Estaca escavada com fluido estabilizante .....  | 22        |
| <b>2.3</b>     | <b>Escolha do tipo de fundação.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.4</b>     | <b>Métodos de dimensionamento .....</b>   | <b>26</b> |
| 2.4.1          | Estacas pré-moldadas, Franki, hélice contínua e escavada com fluido estabilizante ..... | 27        |
| <u>2.4.1.1</u> | <u>Capacidade de Carga.....</u>   | <u>27</u> |
| <u>2.4.1.2</u> | <u>Carga admissível.....</u>  | <u>32</u> |
| <u>2.4.1.3</u> | <u>Dimensionamento Geométrico .....</u>   | <u>34</u> |
| <u>2.4.1.4</u> | <u>Recalque em estacas .....</u>  | <u>35</u> |
| <u>2.4.1.5</u> | <u>Métodos de previsão de recalque segundo a literatura .....</u>                       | <u>39</u> |
| <b>2.5</b>     | <b>Relatórios de sondagem .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>3</b>       | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>3.1</b>     | <b>Pesquisa de mercado.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>3.2</b>     | <b>Planilha SPT.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>3.3</b>     | <b>Dimensionamento de estacas .....</b>   | <b>54</b> |
| <b>3.4</b>     | <b>Planilhas: previsões de recalque .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>3.5</b>     | <b>Geração de relatório em PDF .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>4</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>  | <b>58</b> |
| <b>4.1</b>     | <b>Pesquisa de mercado.....</b>   | <b>58</b> |
| <b>4.2</b>     | <b>Apresentação do estudo.....</b>  | <b>58</b> |

|          |                                  |           |
|----------|----------------------------------|-----------|
| 4.2.1    | Declividade .....                | 59        |
| 4.2.2    | Dados SPT e questionário .....   | 60        |
| 4.2.3    | Dimensionamento de estacas ..... | 63        |
| 4.2.4    | Previsões de recalque .....      | 64        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>          | <b>65</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais essenciais em obras civis, sendo responsáveis por transmitir as cargas da estrutura para o solo de forma segura e estável. A escolha adequada do tipo de fundação é fundamental para garantir a estabilidade e durabilidade das construções. Segundo a NBR 6122/2022 - “projeto e execução de fundações”, existem duas classificações para os diversos tipos de fundações, podendo ser fundações superficiais (ou rasas) ou fundações profundas.

Há uma diversidade de tipos de fundações a serem considerados, portanto é imprescindível que engenheiro responsável analise minuciosamente todas as variáveis da construção, realize estudos geotécnicos para compreender as propriedades do solo e leve em conta o aspecto econômico ao tomar suas decisões. Se caso houver algum tipo de fundação utilizado por engano, poderá resultar em acidentes, patologias futuras e desperdício de dinheiro (BARROS; TORRES, 2017).

Com o avanço da tecnologia, torna-se cada vez mais importante utilizar ferramentas que facilitem e otimizem o processo de elaboração de projetos, garantindo a segurança e eficiência das estruturas. Por isso, programas computacionais que auxiliam na escolha e pré-dimensionamento de fundações vem se mostrando uma ferramenta de trabalho fundamental no campo da Engenharia Civil. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar a criação de um programa que auxilie na seleção e pré-dimensionamento adequado das fundações, levando em consideração parâmetros geotécnicos, cargas e normas vigentes. Por meio desta ferramenta, espera-se proporcionar maior precisão e agilidade no processo de seleção, a partir de uma análise de dados de solo, pré-dimensionamento da fundação, bem como previsões de recalque, contribuindo para a construção de estruturas mais seguras e econômicas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Desenvolvimento de um programa computacional que oferece suporte ao usuário na tomada de decisão para escolha da fundação mais adequada.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Aplicar os métodos de dimensionamento adequados para soluções de fundações em estaca pré-moldada, estaca Franki, estaca escavada com fluido estabilizante e estaca hélice contínua;
- Inserir dados de sondagem e questionário para selecionar a fundação mais apropriada para o perfil de solo;
- Desenvolver uma planilha interativa que permita ao usuário inserir dados para que seja apresentada a fundação mais adequada, um pré-dimensionamento geométrico e geotécnico das fundações.
- Apresentar previsões de recalque nos determinados tipos de fundações propostos.

## **1.2 Justificativa**

A escolha correta do tipo de fundação é fundamental para garantir vida longa e estabilidade para uma edificação. Um bom alicerce é indispensável para a execução de qualquer obra e quando diz respeito ao não surgimento de problemas na edificação, a fundação é extremamente importante para garantir níveis de desempenho satisfatórios (MARCELLI, 2007).

Fundações bem projetadas representam em média 3% a 10% do custo total do edifício. No entanto, se mal concebidas, podem chegar a ser de 5 a 10 vezes mais onerosas do que a fundação mais pertinente para o caso (BRITO, 1987). Dessa forma, a criação de um software computacional que dê suporte a determinação da solução otimizada de fundação, juntamente com a realização de um pré-dimensionamento e a capacidade de visualização das previsões de recalque, pode desempenhar um papel

crucial no processo de projeto, agilizando a determinação da solução mais adequada e resultando em economia de tempo e recursos financeiros.

A incessante necessidade de economia de tempo e recursos financeiros na indústria da construção civil, visando atender tanto às demandas dos clientes quanto das empresas construtoras, é um fato recorrente. Para garantir a satisfação dos clientes e evitar problemas na qualidade da obra, é fundamental utilizar métodos eficientes de gerenciamento. A comparação interativa entre os tipos de estacas é uma abordagem que auxilia na seleção da fundação mais adequada, minimizando potenciais falhas estéticas e estruturais na estrutura a qual a fundação dará suporte.

Outros programas computacionais que foram analisados durante o estudo possuem funcionalidades semelhantes, no entanto, costumam estar restritos a certos tipos de fundações específicas, sem oferecer as previsões de recalque. Essa abordagem destaca a importância e originalidade do trabalho realizado, uma vez que se destaca dos demais programas ao abordar uma ampla gama de fundações profundas e fornecer estimativas de recalque.

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, foi necessário realizar uma revisão das normas em vigor que determinam os parâmetros-chave na seleção do tipo de fundação. Além disso, foi necessário examinar a literatura existente para identificar os métodos de dimensionamento para estacas, também sendo crucial analisar os acréscimos de tensão no solo e as previsões de recalque para cada uma das soluções de fundação.

A partir dos resultados obtidos a partir de uma pesquisa de mercado, a fim de delimitar a pesquisa às construções de médio à grande porte, foram escolhidas as estacas pré-moldadas, Franki, hélice contínua e escavada com fluido estabilizante. Com base nessas informações, será elaborada uma planilha interativa no Excel que leve em consideração a disponibilidade dos dados e informações necessárias, assegurando assim a viabilidade do projeto, incluindo previsões de recalque de solo, garantindo o diferencial do trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Definições

As fundações são elementos estruturais com finalidade de transmitir ao terreno as cargas de uma estrutura (AZEREDO, 1997).

De acordo com Araújo (2010), o estudo das fundações corresponde a uma das etapas de maior importância e complexidade dentro do projeto estrutural de uma edificação. A escolha do tipo de fundação mais adequada para resistir e distribuir de forma segura as cargas provenientes da superestrutura envolve estudos relativos às características do solo ao qual ela será assente, tais como sua deformabilidade e resistência. Além disso, a escolha da fundação deve ser condizente com as características da edificação, tais como as cargas atuantes e a sua capacidade de acomodação plástica.

Conforme Alva (2007), é fundamental, sob aspectos de segurança, que estes elementos estruturais de fundação apresentem resistência adequada para suportar as tensões geradas pelos esforços solicitantes e que a resistência do solo também seja respeitada. Uma fundação necessita transferir e distribuir com segurança as ações oriundas da superestrutura ao solo de forma que não ocorram recalques diferenciais prejudiciais ao sistema estrutural, ou ainda, a própria ruptura do solo.

De acordo com a NBR 6122:2022, as fundações podem ser classificadas em dois grandes grupos: fundações rasas e profundas. A norma define que fundações rasas (superficial) são elementos de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão, recebendo as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada. Em contrapartida, as fundações profundas, são elementos que transmitem a carga ao terro ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pela combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0m.

Ainda, de acordo com Azeredo (1997), as fundações diretas são definidas como

Aquelas em que a carga da estrutura é transmitida ao solo de suporte diretamente pela fundação. O dimensionamento da área necessária para o elemento da fundação deve satisfazer as condições essenciais a seguir. 1) O

centro de gravidade da fundação deve coincidir com o centro de gravidade do elemento transmissor de carga. 2) Tendo  $P$  a carga a transmitir e  $p$  a pressão admissível do terreno, a área necessária será dada por  $A = P/p$ .3) Solução mais econômica (AZEREDO, 1997 P 39).

Para o mesmo autor, as fundações indiretas ou profundas são definidas como Fundações que têm o comprimento preponderante sobre a seção, são as estacas e os tubulões. Para a cravação das estacas o processo mais usual é o emprego dos bate-estacas, as quais podem ser divididos, de acordo com o martelo usado, nos seguintes grupos: bate-estacas de gravidade, de simples efeito e de duplo efeito (AZEREDO, 1997 P 45).

Quando a carga do pilar for elevada ou o solo for de baixa capacidade de suporte, serão necessária a utilização de algum grupo de estacas para transferir os esforços para o solo, a fim de atingir camadas resistentes mais profundas. Para este trabalho, o grupo de estacas selecionadas forma estaca pré-moldada de concreto, estaca hélice contínua e estaca escavada com fluido estabilizante.

## **2.2. Tipos de estacas abordadas neste trabalho**

### **2.2.1 Estaca pré-moldada de concreto**

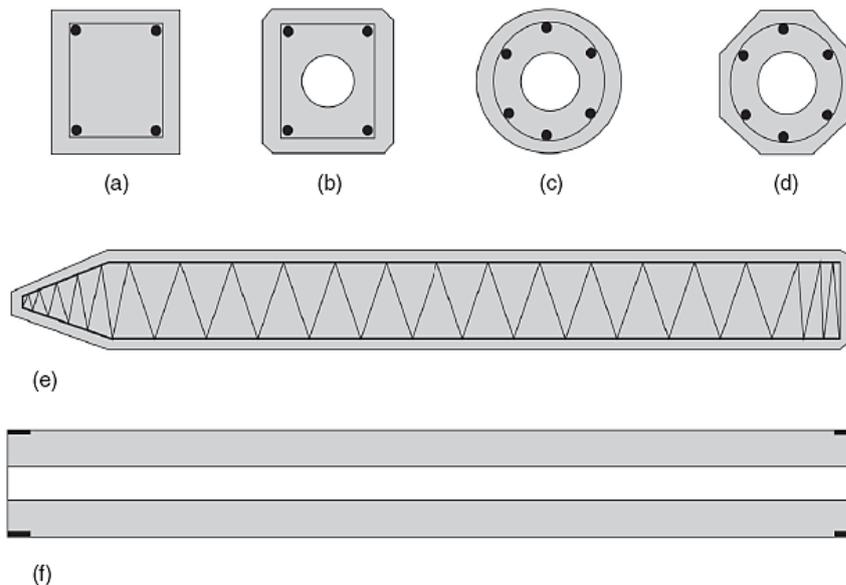
Segundo a NBR 6122/2022 (ABNT, 2022), estacas do tipo pré-moldadas de concreto são “estaca constituída de segmentos de pré-moldado ou pré-fabricado de concreto e introduzida no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou por martelo vibratório”

O concreto é amplamente reconhecido como um material de construção que oferece uma resistência expressiva elementos agressivos, como ação química, intempéries e agentes corrosivos. Além disso, o concreto possui a capacidade de suportar a variação de temperatura, resistindo tanto a condições secas quanto úmidas. Uma das principais vantagens do uso do concreto é sua versatilidade na produção de estacas. As estacas de concreto podem ser projetadas e utilizadas para suportar desde pequenas cargas, como no caso de obras residenciais, até grandes cargas, encontradas em obras como pontes e edifícios comerciais de multipavimentos.

Em geral, as estacas pré-fabricadas de concreto são confeccionadas em cimento de alta resistência inicial (ARI) para que se alcance a resistência mínima para desformar o mais breve possível. Em geral, a idade de desforma não excede um dia. Para que de tenha boa trabalhabilidade do concreto são utilizados aditivos plastificantes na proporção máxima de 1% da quantidade de cimento utilizado. A quantidade de cimento utilizado na produção de concreto varia entre 350 e 420 kg/m<sup>3</sup> e o fator água cimento encontra-se na faixa entre 0,4 e 0,5 (GONÇALVES et al., 2007).

O diâmetro das estacas é determinado pela NBR 6.122:2022 Projeto e Execução de Fundações, que limita a tensão máxima do concreto da estaca e determina a relação entre a carga estrutural e a seção do elemento. A Figura 1 representa algumas seções típicas.

**Figura 1: Estacas pré-moldadas de concreto**



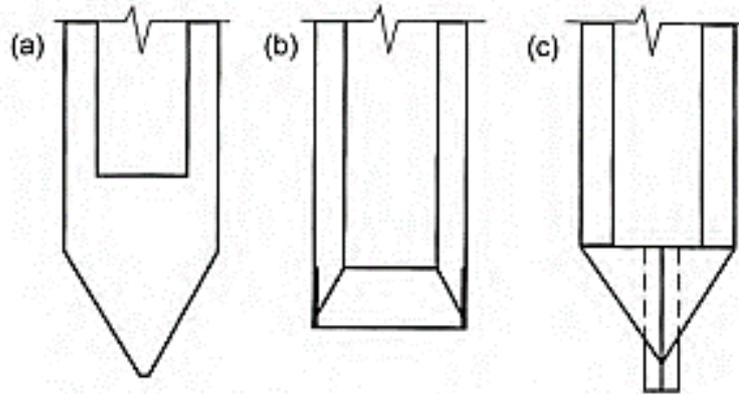
Nota: (a) a (d) seções transversais típicas; (e) seção longitudinal com armadura típica; e (f) estaca com furo central e anel de emenda (apenas o concreto representado)

**Fonte: Danziger e Lopes (2021)**

Para as estacas pré-moldadas de concreto podem ser fabricadas com pontas especiais, que facilitam a cravação (passagem por camadas mais compactas e/ou embutimento em materiais compactos), conforme Figura 2 (VELLOSO E LOPES, 2010). Elas podem ser produzidas em usinas ou no próprio canteiro de obras e podem ser classificadas quanto à forma de confecção, sendo diferenciadas em concreto vibrado, concreto centrifugado ou por extrusão) e quanto à armadura, sendo

distinguidas em estacas pré-fabricadas de concreto armado ou de concreto protendido (DANZIGER E LOPES, 2021, p.18).

**Figura 2: Pontas para estacas pré-moldadas**



**Fonte: Velloso e Lopes, 2010**

Já para grandes cargas e/ou grandes comprimentos comumente se utilizam estacas de concreto protendido (VELLOSO E LOPES, 2010, p. 198). As estacas pré-moldadas de concreto protendido apresentam uma série de vantagens significativas das quais as principais características estão diretamente relacionadas à sua resistência excepcional, facilidade de manipulação e cravação, bem como sua capacidade de suportar forças de tração elevadas. Essas características tornam as estacas pré-moldadas de concreto protendido uma escolha ideal para aplicações que exigem alta resistência estrutural e capacidade de suportar cargas de tração intensas.

### 2.2.2 Estaca Franki

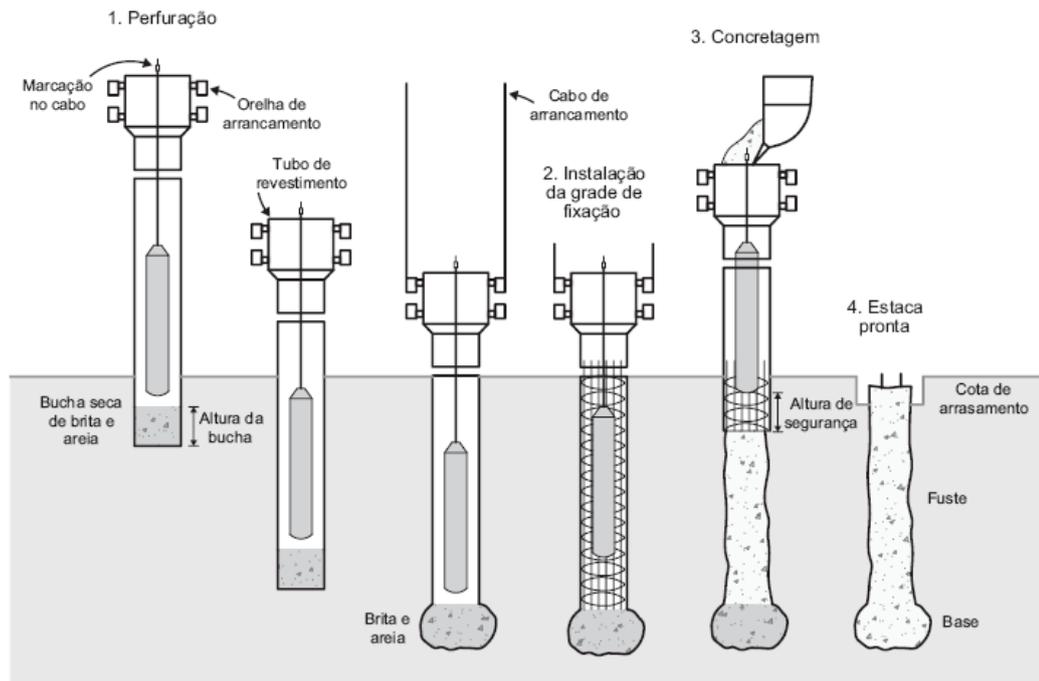
Conforme definição apresentada pela NBR 6122/2022, as estacas tipo Franki são caracterizadas por ter uma base alargada, obtida introduzindo-se no terreno uma certa quantidade de material granular ou concreto, por meio de golpes de um pilão. O fuste pode ser moldado no terreno com revestimento perdido ou não ou ser constituído por um elemento pré-moldado. (ABNT, 2022, p. 3).

No processo executivo desta estaca, crava-se um tubo de aço com um tampão de concreto “seco” ou brita e areia na extremidade inferior, denominado “bucha”. Por meio de um soquete de massa de duas a quatro toneladas, aploa-se essa bucha de concreto seco, que, pelo elevado atrito com o tubo de aço, à medida que os golpes vão sendo aplicados, se arrasta junto o tubo.

Atingida a profundidade de projeto, ou seja, alcançando-se a nega decorrente do atrito do tubo com o solo, coloca-se mais material no interior do tubo, e por meio de golpes do soquete, provoca-se a expulsão da bucha do interior do molde, formando um bulbo de concreto, de diâmetro alargado.

Após a execução da base alargada, é introduzida a armação. A concretagem é executada em pequenos trechos fortemente apilados. Em razão de seu processo executivo, esse tipo de estaca desenvolve elevada capacidade de carga para pequenos recalques. Pode ser executada abaixo do N.A., por meio de perfuração à percussão utilizando concreto convencional para o preenchimento do furo, e podem ser executadas profundidades que variam em função do comprimento do tubo e do equipamento de cravação. O processo executivo da estaca Franki está representado conforme Figura 3. Os diâmetros variam de 0,30 a 0,70 m, porém ocasionam vibração no terreno. (ALBUQUERQUE; GARCIA; 2020, p. 220)

**Figura 3 - Processo executivo da Estaca Franki**



**Fonte: Albuquerque (2020)**

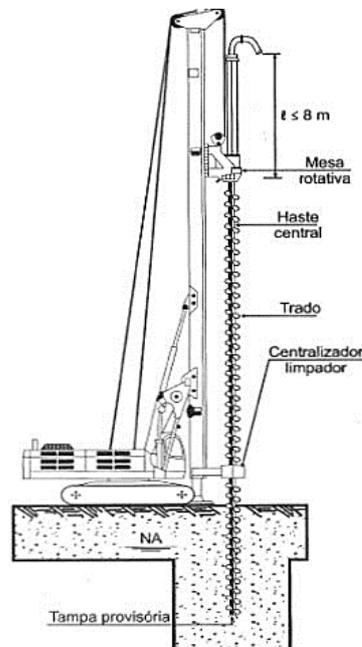
Apesar das vibrações causadas, a estaca Franki é uma opção popular de fundação devido à sua capacidade de suportar cargas elevadas e resistir a condições adversas do solo. Ela é especialmente útil em locais onde o solo apresenta características desafiadoras, como a presença de camadas rochosas ou solos coesivos.

### 2.2.3 Estaca Hélice Contínua

Conforme a definição apresentada pela NBR 6122/2022, estacas tipo hélice contínua são “estacas de concreto moldada *in loco*, executada mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente à sua retirada, sendo a armadura introduzida após a concretagem da estaca” (ABNT, 2022, p. 4).

A estaca hélice contínua apresenta diversas vantagens dentre elas o baixo nível de vibração durante a sua execução, o que é extremamente benéfico em termos de conforto e segurança e sua alta produtividade, permitindo a realização de obras de forma mais rápida e eficiente. Outro ponto positivo da estaca hélice contínua é a possibilidade de monitoramento contínuo durante todo o processo de execução. Isso é possível graças aos equipamentos especializados que acompanham o controle de qualidade. Dessa forma, é possível garantir a conformidade dos parâmetros técnicos e assegurar a qualidade do trabalho realizado. O equipamento que se utiliza nesse tipo de fundação (Figura 4) é uma tecnologia com um custo elevado, o que pode ser desfavorável, quando o assunto é economia.

**Figura 4: Detalhe dos equipamentos empregados na execução da estaca hélice contínua**

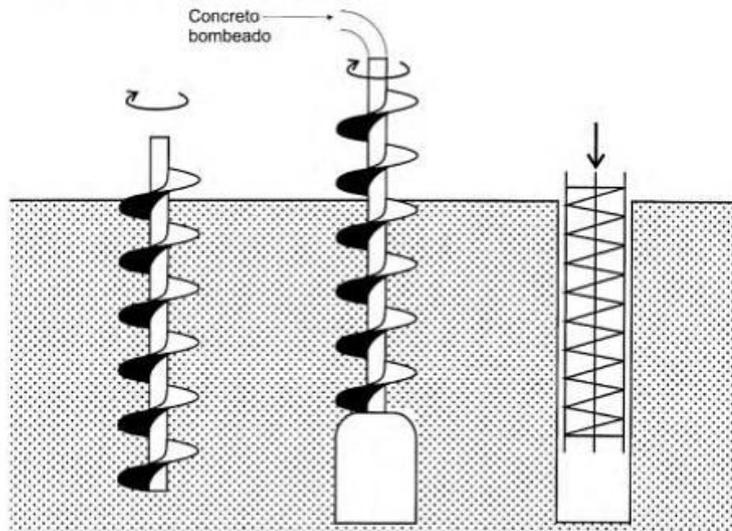


**Fonte: Manual de execução de fundações e geotecnia (ABEF, 2012, p.234)**

Introduzida no Brasil na década de 1980 e amplamente difundida em 1993, a estaca do tipo hélice contínua é caracterizada pela escavação do solo por meio de um

trado contínuo, constituído por hélices em torno de um tubo central vazado. Após sua introdução no solo até a cota especificada, o trado é extraído concomitantemente à injeção do concreto através do tubo do trado (Figura 5).

**Figura 5: Esquema executivo da Estaca hélice contínua**



**Fonte: Velloso e Lopes (2011)**

Nas últimas décadas, houve um avanço significativo em relação às tecnologias disponíveis no mercado e destaca-se entre eles a estaca do tipo hélice contínua, a qual apresenta uma enorme versatilidade e rapidez, já que possibilita a execução de várias estacas ao longo do dia e independe de fatores como o tipo de solo, o nível de água no terreno e condições climáticas (VELLOSO; LOPES, 2010).

#### 2.2.4 Estaca escavada com fluido estabilizante

Na década de 1950, foi criada a técnica de utilizar lama bentonítica, que teve um papel fundamental no desenvolvimento das paredes diafragma e estacas escavadas. Mais recentemente, surgiu a lama polimérica como uma alternativa mais sustentável, pois é mais fácil de descartar no meio ambiente. As estacas suportadas por lama são amplamente utilizadas em diferentes tipos de terreno, com comprimentos que podem ultrapassar 50 metros e seções transversais circulares ou retangulares, oferecendo diversas vantagens.

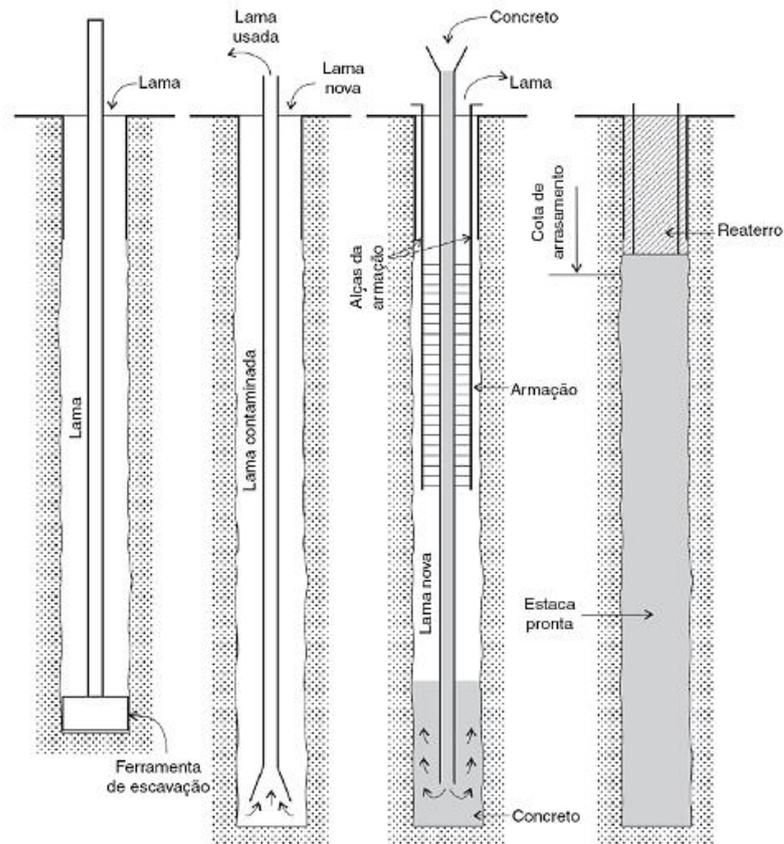
De acordo com Danziger e Lopes (2021):

“A experiência mostra que as paredes de uma escavação em solo, com seção transversal circular ou retangular, permanecem estáveis quando cheias com

lama desde que o nível da lama fique acima do nível do lençol freático, algo em torno de 1,5 ou 2,0 m. Se o NA estiver próximo do nível do terreno, essa diferença de nível pode ser obtida com a utilização de uma camisa-guia de altura adequada ou por meio de rebaixamento do lençol d'água localizado.” (p.28)

A Figura 6 representa a execução da estaca escavada com fluido estabilizante.

**Figura 6: Execução de estaca escavada com fluido estabilizante**



**Fonte: Dazniger e Lopes (2021)**

As estacas do tipo estacão ou barrete podem ser utilizadas abaixo do nível d'água. São escavadas com o auxílio de fluido estabilizante (lama bentonítica ou polímero) no interior da perfuração. Atingida a profundidade de projeto, as estacas são concretadas através de um funil denominado “tremonha”. O concreto expulsa o fluido à medida que avança no interior da perfuração, de baixo para cima. A concretagem deverá ser paralisada quando se constatar que o concreto na “boca do furo” não apresenta sinais de contaminação (solo ou fluido). Mantida na parte superior durante a concretagem, terá de ser descartada por estar contaminada com solo ou com o fluido. (ALBUQUERQUE; GARCIA; 2020, p. 208)

### 2.3 Escolha do tipo de fundação

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, são apresentados os tipos mais comuns de estacas encontradas no mercado dentre as que são/foram tratadas no presente estudo, bem como as características geométricas e a carga estrutural.

**Tabela 1: Principais tipos de estacas pré-moldadas disponíveis no mercado**

| Tipo                                   | Dimensões (cm) | $R_{adm}$ (kN) – estrutural | Comprimento (m) |
|--|----------------|-----------------------------|-----------------|
| Pré-moldada (concreto) seção circular  | Maciça         |                             | Emenda          |
|  | Vazada         |                             |                 |
| Pré-moldada (concreto) seção hexagonal | Maciça         |                             |                 |
|  | Vazada         |                             |                 |
| Pré-moldada (concreto) seção quadrada  | Maciça         |                             |                 |
|  | Vazada         |                             |                 |

Fonte: Albuquerque (2020)

**Tabela 2: Principais tipos de estaca escavada com fluido estabilizante disponíveis no mercado**

| Tipo                              | Dimensões (cm) | $R_{adm}$ (kN) – estrutural |      |      |        | Comprimento (m)  |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------------|------|------|--------|--|
| Escavada com fluido estabilizante |                | $\sigma_{conc}$ [MPa]       |      |      |        | Equipamentos especiais com profundidades de 60 a 100 m |
|                                   |                | 3,5                         | 4,0  | 4,5  | 5,0    |  |
|                                   | $\phi = 60$    | 1000                        | 1100 | 1250 | 1400   |  |
|                                   | $\phi = 70$    | 1350                        | 1500 | 1700 | 1900   |  |
|                                   | $\phi = 80$    | 1750                        | 2000 | 2250 | 2500   |  |
|                                   | $\phi = 90$    | 2200                        | 2550 | 2850 | 3150   |  |
|                                   | $\phi = 100$   | 2750                        | 3100 | 3500 | 3900   |  |
|                                   | $\phi = 110$   | 3300                        | 3800 | 4300 | 4750   |  |
|                                   | $\phi = 120$   | 3950                        | 4500 | 5050 | 5650   |  |
|                                   | $\phi = 130$   | 4600                        | 5300 | 6000 | 6600   |  |
|                                   | $\phi = 140$   | 5400                        | 6150 | 6900 | 7700   |  |
|                                   | $\phi = 150$   | 6200                        | 7100 | 8000 | 8850   |  |
|                                   | $\phi = 160$   | 7000                        | 8000 | 9000 | 10.000 |  |

Fonte: Albuquerque (2020)

**Tabela 3: principais tipos de estaca Franki disponíveis no mercado**

| Tipo   | Dimensões (cm) | $R_{adm}$ (kN) –<br>estrutural | Comprimento (m)     |
|--------|----------------|--------------------------------|---------------------|
| Franki | $\phi = 30$    | 450                            | Máximo de 15 a 40 m |
|        | $\phi = 35$    | 650                            |                     |
|        | $\phi = 40$    | 850                            |                     |
|        | $\phi = 45$    | 1100                           |                     |
|        | $\phi = 52$    | 1500                           |                     |
|        | $\phi = 60$    | 1950                           |                     |
|        | $\phi = 70$    | 2600                           |                     |

Fonte: Albuquerque (2020)

**Tabela 4: principais tipos de estaca hélice contínua disponíveis no mercado**

|                 |              |           |             |
|-----------------|--------------|-----------|-------------|
| Hélice contínua | $\phi = 30$  | 150-300   | Máximo 38 m |
|                 | $\phi = 40$  | 350-600   |             |
|                 | $\phi = 50$  | 700-1100  |             |
|                 | $\phi = 60$  | 1200-1400 |             |
|                 | $\phi = 70$  | 1500-1900 |             |
|                 | $\phi = 80$  | 2000-2500 |             |
|                 | $\phi = 90$  | 2600-3200 |             |
|                 | $\phi = 100$ | 3300-3900 |             |
|                 | $\phi = 120$ | 4800-5600 |             |

Fonte: Albuquerque (2020)

O comportamento de uma fundação, bem como a sua qualidade, depende de uma boa escolha do tipo que será utilizado na edificação, e que melhor concilie os aspectos técnicos e econômicos de cada obra. Um equívoco ou insucesso na escolha do tipo que será utilizado pode representar, custos elevadíssimos para recuperação ou até mesmo o colapso da estrutura ou do solo (ALVA, 2007).

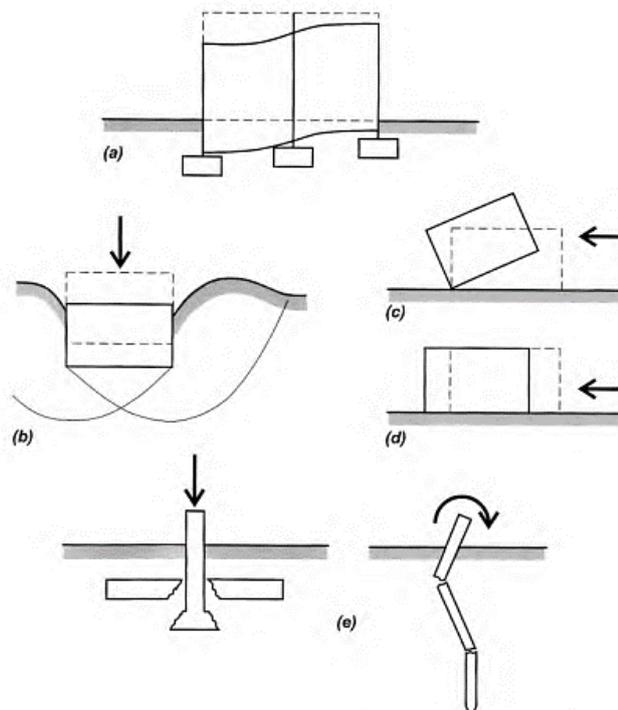
Por conseguinte, diante das informações obtidas através dos ensaios geotécnicos de sondagem do solo e análises técnicas visuais, torna-se imperativo realizar uma seleção criteriosa do tipo de fundação mais adequado para o solo específico de uma determinada região. Essa escolha é fundamental para garantir a estabilidade, resistência e durabilidade da estrutura a ser construída, levando em consideração as características do solo, como sua composição, capacidade de suporte, presença de camadas resistentes ou adensáveis, compressibilidade e resistência, bem como o nível do lençol freático. Assim, ao considerar todos esses parâmetros geotécnicos, é possível tomar decisões embasadas e seguras quanto à escolha da fundação mais apropriada para o solo em questão, visando evitar problemas futuros e assegurando a qualidade e segurança da construção

## 2.4 Métodos de dimensionamento

Tradicionalmente, os principais requisitos que devem ser atendidos ao realizar o dimensionamento de um projeto de fundações são os estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), ambos previstos na ABNT NBR 6122 de 2022. Outros requisitos importantes e mais específicos para certos tipos de obra são: segurança ao tombamento; segurança à flambagem e níveis de vibração compatíveis com o uso da obra (VELLOSO; LOPES, 2011).

Caso não sejam levados em consideração e atendidos os requisitos mencionados, podem ocorrer uma série de consequências indesejáveis, tais como deformações excessivas que comprometem a integridade da estrutura, recalques que podem desestabilizar as fundações, colapso estrutural que implica na perda total ou parcial da capacidade de suporte da construção, e até mesmo tombamento, em que a estrutura se inclina ou desaba completamente, como ilustrado na Figura 7. É fundamental garantir a conformidade com esses requisitos a fim de evitar tais cenários prejudiciais à segurança e estabilidade da edificação.

**Figura 7: Consequências indesejáveis em projetos de fundações**



Nota: (a) Deformações excessivas, (b) colapso do solo, (c) tombamento, (d) deslizamento e (e) colapso estrutural, resultante de projetos deficientes

**Fonte: Velloso e Lopes (2011)**

Ainda Segundo Velloso, nos problemas de fundações, é frequente encontrar incertezas, tanto nos métodos de cálculo utilizados quanto nos valores dos parâmetros do solo considerados nesses cálculos, assim como nas cargas a serem suportadas. Por isso, é necessário incorporar coeficientes de segurança (também conhecidos como fatores de segurança) que levem em consideração essas incertezas.

#### 2.4.1 Estacas pré-moldadas, Franki, hélice contínua e escavada com fluido estabilizante

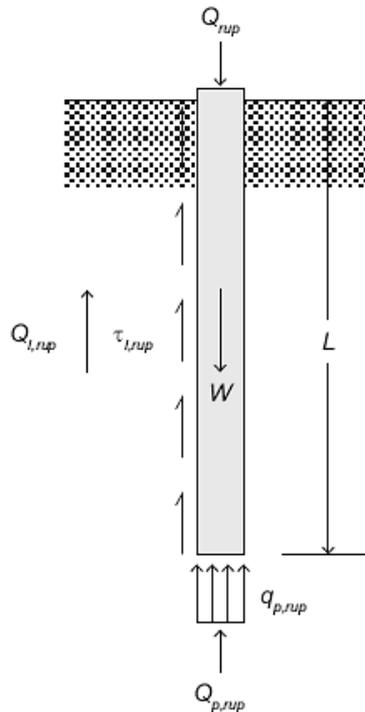
##### 2.4.1.1 Capacidade de Carga

Uma fundação corretamente dimensionada apresenta, ao mesmo tempo, segurança em relação aos possíveis modos de colapso (atendimento aos estados limite últimos) e deslocamentos em serviço aceitáveis (atendimento aos estados limite de utilização). Assim, no projeto de uma fundação, é preciso verificar a segurança em relação a perda da capacidade de carga (um dos principais modos de colapso) (VELLOSO E LOPES, 2010).

Para o cálculo da capacidade de carga, existem os métodos estáticos, sendo compostos por métodos teóricos e semiempíricos, e os métodos empíricos (VELLOSO; LOPES, 2011).

Nos métodos estáticos, é imaginado o equilíbrio entre a carga aplicada, o peso próprio da estaca e a resistência oferecida pelo solo, conforme representado na Figura 8.

**Figura 8: Estaca ou tubulão submetido à carga de ruptura de compressão**



**Fonte: Velloso e Lopes, 2011**

Muitos autores têm proposto métodos baseados em correlações empíricas com resultados de ensaios in situ e ajustados com provas de carga. Os autores Cintra e Aoki (2010) trazem alguns desses métodos empíricos brasileiros, sendo eles: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996), apresentados a seguir.

- Aoki-Velloso (1978)

Para a determinação da capacidade de carga, tem-se a Equação 01:

$$R = R_L + R_p \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde  $R_L$  é a resistência lateral e  $R_p$  é a resistência de ponta.

Com as parcelas de resistência lateral ( $R_L$ ) e de ponta ( $R_p$ ) dadas, respectivamente pelas Equações 02 e 03:

$$R_L = U \sum (r_L \Delta_L) \quad (\text{Eq. 02})$$

$$R_p = r_p A_p \quad (\text{Eq. 03})$$

Tem-se como capacidade de carga (R) dada pela Equação 04:

$$R = U \sum(r_L \Delta_L) + r_p A_p \quad (\text{Eq. 04})$$

Em que  $r_L$  e  $r_p$  são as incógnitas referentes ao solo, ou seja, incógnitas geotécnicas.

Essas duas incógnitas geotécnicas, são correlacionadas com ensaios de penetração, portanto, a partir do tipo de solo e relacionando os dados obtidos pelo ensaio, pode-se determinar as incógnitas referentes ao solo pelas Equações 05 e 06:

$$r_p = \frac{KN_p}{F_1} \quad (\text{Eq. 05})$$

$$r_L = \frac{\alpha KN_L}{F_2} \quad (\text{Eq. 06})$$

Onde,  $N_L$  e  $N_p$  são os índices de resistência a penetração médio na camada de solo de espessura L e a resistência à penetração na cota de apoio da estaca, respectivamente. Os valores K e  $\alpha$  são indicados pela Tabela 5. F1 e F2 são fatores de correção, indicados na Tabela 6.

**Tabela 5: Coeficiente K e razão de atrito**

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

**Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2011)**

**Tabela 6: Fatores de Correção F1 e F2**

| <b>Tipo de estaca</b>         | <b>F<sub>1</sub></b> | <b>F<sub>2</sub></b> |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Franki                        | 2,50                 | 2 F1                 |
| Metálica                      | 1,75                 | 2 F1                 |
| Pré-moldada                   | 1 + D/0,80           | 2 F1                 |
| Escavada                      | 3,0                  | 2 F1                 |
| Raiz, Hélice contínua e Ômega | 2,0                  | 2 F1                 |

**Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2011)**

Os fatores de correção foram ajustados com 63 provas de carga realizadas em diferentes estados do Brasil.

- Décourt-Quaresma (1978)

As parcelas de resistência lateral e de ponta da capacidade de carga de uma estaca podem ser expressas pelas Equações 07 e 08:

$$R_L = r_L UL \quad (\text{Eq. 07})$$

$$R_p = r_p A_p \quad (\text{Eq. 08})$$

A estimativa de atrito lateral e a capacidade de carga na ponta, são calculadas pelas Equações 09 e 10, respectivamente:

$$r_L = 10 \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) (kPa) \quad (\text{Eq. 09})$$

$$r_p = C N_p (kPa) \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde,  $N_L$  é o valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste,  $N_p$  é o valor médio do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, obtido a partir de três valores: o correspondente ao nível da ponta ou base, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior. Já o C refere-se ao coeficiente característico do solo, ajustado por meio de 41 provas de carga realizadas em estacas pré-moldadas de concreto.

Os coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$  estão representados pelas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7: Valores do fator  $\alpha$  em função do tipo de estaca e do tipo de solo

| Tipos de solo        | Tipo de Estaca    |                     |                 |       | Injetada sob altas pressões |
|----------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-------|-----------------------------|
|                      | Escavada em geral | Escavada (betonita) | Hélice Contínua | Raiz  |                             |
| Argilas              | 0,85              | 0,85                | 0,3*            | 0,85* | 1*                          |
| Solos intermediários | 0,60              | 0,60                | 0,3*            | 0,6*  | 1*                          |
| Areias               | 0,50              | 0,50                | 0,3*            | 0,5*  | 1*                          |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Tabela 8: Valores do fator  $\beta$  em função do tipo de estaca e do tipo de solo

| Tipos de solo        | Tipo de Estaca    |                     |                 |      | Injetada sob altas pressões |
|----------------------|-------------------|---------------------|-----------------|------|-----------------------------|
|                      | Escavada em geral | Escavada (betonita) | Hélice Contínua | Raiz |                             |
| Argilas              | 0,85*             | 0,9*                | 1*              | 1,5* | 3*                          |
| Solos intermediários | 0,6*              | 0,75*               | 1*              | 1,5* | 3*                          |
| Areias               | 0,5*              | 0,6*                | 1*              | 1,5* | 3*                          |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Para a aplicação do método, as estacas escavadas em geral, estacas tipo hélice contínua, raiz e estacas injetadas sob altas pressões, é necessário fazer a inclusão dos coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$ , nas parcelas de ponta e lateral, respectivamente. Para estacas pré-moldadas, os coeficientes equivalem a 1, portanto, não é necessário a inclusão desses coeficientes. O mesmo acontece com estacas metálicas e estacas tipo Franki.

- Teixeira (1996)

A partir dos métodos Aoki-Veloso, Décourt-Quaresma e outros, Teixeira propões uma espécie de equação unificada, sendo representada pela Equação 11:

$$R = \alpha N_p A_p + \beta N_L UL \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde,  $N_p$  é o valor médio do índice de resistência à penetração no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo e  $N_L$  é o valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca. O parâmetro  $\beta$  é relativo à resistência de atrito lateral, e independe do tipo de solo, tendo seus valores

representados na Tabela 9. O parâmetro  $\alpha$  é relativo à resistência de ponta, sendo representados na Tabela 10 em função do solo e do tipo de estaca.

**Tabela 9: Valores do parâmetro  $\alpha$**

| Solo<br>(4 < N <sub>spt</sub> < 40) | Tipo de Estaca - $\alpha$ (kPa) |        |                       |      |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------|-----------------------|------|
|                                     | Pré-moldada e perfil metálico   | Franki | Escavada a céu aberto | Raiz |
| 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: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

**Tabela 10: Valores do parâmetro  $\beta$**

| Tipo de estaca                | $\beta$ (kPa) |
|-------------------------------|---------------|
| Pré-moldada e Perfil metálico | 4             |
| Franki                        | 5             |
| Escavada a céu aberto         | 4             |
| Raiz                          | 6             |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Um ponto relevante a ser destacado, é que Teixeira adverte o uso do método para estacas pré-moldadas de concretos flutuantes em espessas camadas de argilas moles sensíveis, com  $N_{SPT}$  normalmente inferior a 3.

#### 2.4.1.2 Carga admissível

A NBR 6122 (2022), determina que “o sistema de cravação deve ser dimensionado de modo a levar à estaca até a profundidade prevista para sua capacidade de carga, sem danificá-la.”. Portanto, é essencial prever essas tensões para dimensionar corretamente a estaca, a fim de que ela possa resistir às solicitações do projeto da obra sem sofrer danos.

Os métodos de determinação de carga admissível em estacas são descritos por Cintra e Aoki (2010) onde apresentam os principais métodos, sendo eles: Aoki-Veloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996).

- Aoki-Veloso (1975)

No método de dimensionamento estático Aoki-Veloso, é utilizado um coeficiente global de valor 2, obtendo assim a Equação 12:

$$P_a = \frac{R}{2} = \frac{R_L + R_p}{2} \quad (\text{Eq. 12})$$

- Décourt-Quaresma (1978)

No método de dimensionamento estático Décourt-Quaresma, é utilizado fatores de segurança diferenciados, obtendo a Equação 13:

$$P_a = \frac{R}{2} = \frac{R_p}{4} + \frac{R_L}{1,3} \quad (\text{Eq. 13})$$

- Teixeira (1996)

Já no método Teixeira, para estacas a céu aberto, a capacidade de carga é calculada pela Equação 14:

$$P_a = \frac{R}{2} = \frac{R_p}{4} + \frac{R_L}{1} \quad (\text{Eq. 14})$$

- Carga de catálogo

Além dos métodos estáticos, Cintra e Aoki (2010) trazem a possibilidade de verificação do Estado Limite Último (ELU), considerando a carga de catálogo (Tabela 11) da estaca ( $P_e$ ), pela Equação 15:

$$P_a \leq P_e \quad (\text{Eq. 15})$$

**Tabela 11: Estaca pré-moldada de concreto**

| Estaca   | Dimensão*<br>(cm) | Carga de<br>catálogo |
|--|-------------------|----------------------|
|  |                   | $P_e$ (kN)           |
| Pré-moldada vibrada<br>quadrada<br>$\sigma_e = 6$ a 10 MPa                 | 20 x 20           | 400                  |
|  | 25 x 25           | 600                  |
|  | 30 x 30           | 900                  |
|  | 35 x 35           | 1.200                |
| Pré-moldada vibrada<br>circular<br>$\sigma_e = 9$ a 11 MPa                 | Ø 22              | 400                  |
|  | Ø 29              | 600                  |
|  | Ø 33              | 800                  |
| Pré-moldada proten-<br>dida circular<br>$\sigma_e = 10$ a 14 MPa           | Ø 20              | 350                  |
|  | Ø 25              | 600                  |
|  | Ø 33              | 900                  |
| Pré-moldada centri-<br>fugada<br>$\sigma_e = 9$ a 11 MPa<br>(seção vazada) | Ø 20              | 300                  |
|  | Ø 23              | 400                  |
|  | Ø 26              | 500                  |
|  | Ø 33              | 750                  |
|  | Ø 38              | 900                  |
|  | Ø 42              | 1.150                |
|  | Ø 50              | 1.700                |
| Ø 60   | 2.300             |                      |
| Ø 70   | 3.000             |                      |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Para o dimensionamento, é utilizado o menor valor entre  $P_a$  e  $P_e$ .

#### 2.4.1.3 Dimensionamento Geométrico

As estacas pré-moldadas podem ter quaisquer geometria e dimensões, contanto que sejam dimensionadas não só para suportar os esforços atuantes nelas como elemento estrutural de fundação, como também aqueles que decorram do seu manuseio, transporte, levantamento e cravação (ABNT NBR 6122:2019).

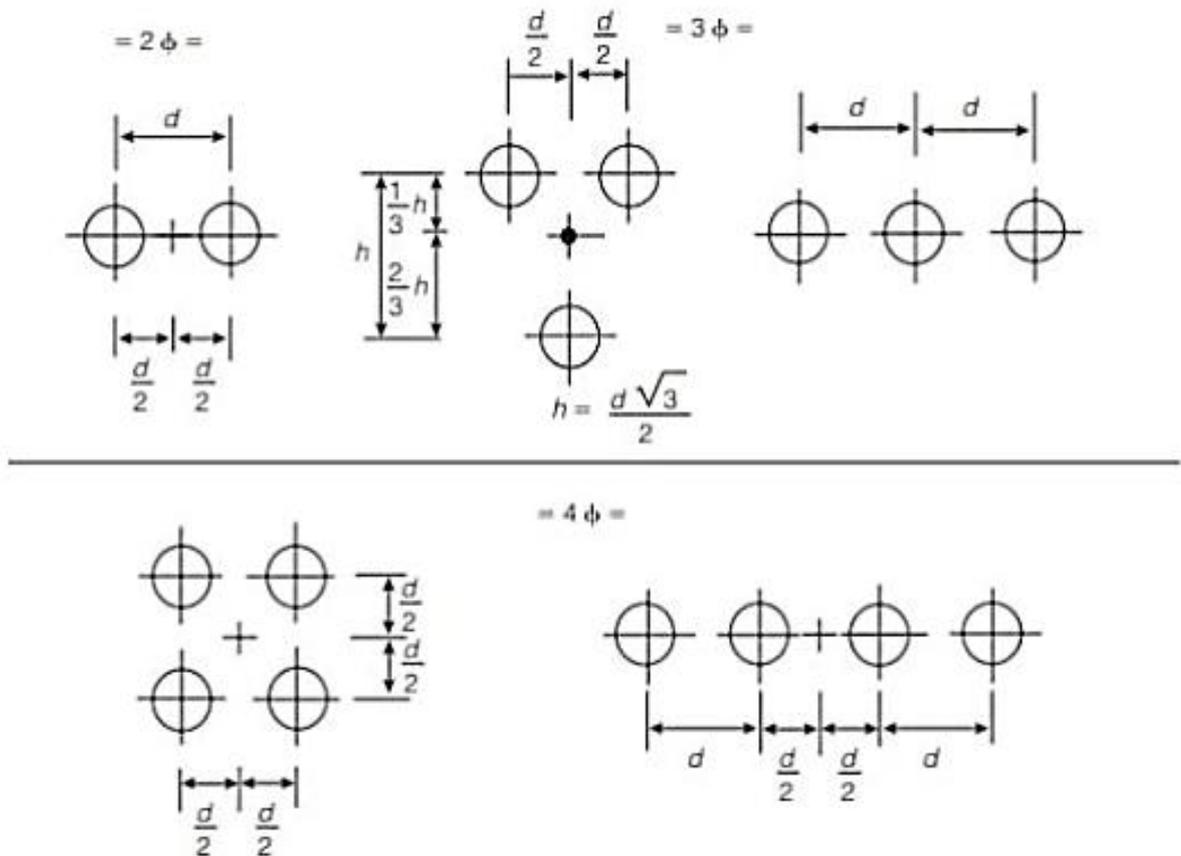
Dentro da sua obra literária, Alonso (2010) aborda de forma minuciosa e detalhada a questão da determinação da quantidade exata de estacas necessárias para suportar de maneira eficiente a carga solicitante em diferentes situações. Além disso, ele também oferece orientações precisas e específicas sobre a geometria ideal dos blocos de coroamento, levando em consideração as particularidades e demandas de cada caso em particular.

Dessa forma, a determinação do número de estacas pode ser expressa pela Equação 16:

$$N. \text{ de estacas} = \frac{\text{Carga do pilar} + \text{peso próprio do bloco}}{\text{Carga admissível da estaca}} \quad (\text{Eq. 16})$$

No processo de determinação da geometria do bloco de coroamento, é altamente recomendável buscar a centralização do bloco com o centro de carga do pilar, sempre que as condições permitirem. Essa prática segue diretrizes padronizadas e é respaldada pela Figura 9.

**Figura 9: Padronização de geometria de blocos de coroamento para até 4 estacas**



Fonte: Alonso (2010)

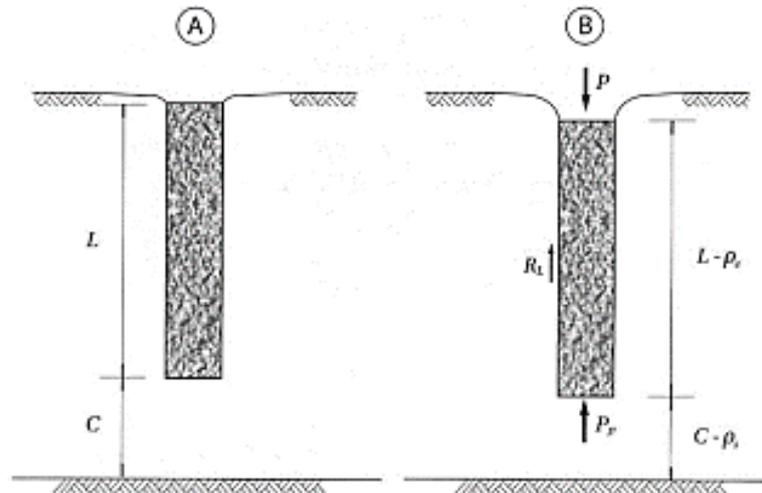
Ao seguir essa abordagem, é possível otimizar a distribuição de cargas e garantir uma melhor eficiência estrutural na sustentação da carga solicitante.

#### 2.4.1.4 Recalque em estacas

Quando uma estaca embutida no solo, recebe a aplicação de uma carga vertical  $P$  em seu topo, apresentará dois tipos de deformações, sendo o encurtamento elástico da própria estaca, como peça estrutural submetida a compressão, o que equivale a um recalque de igual magnitude da cabeça da estaca, mantida imóvel a sua base, e as deformações do solo, as quais são deformações verticais de compressão dos

estratos de solo subjacentes à base da estaca, até o indeslocável, o que resulta em um recalque da base. (CINTRA, AOKI, 2010) (Figura 10).

**Figura 10: Parcelas de recalque da estaca**



**Fonte: Cintra e Aoki (2010)**

Os dois tipos de deformações são expressos por:

$p_e$  = encurtamento elástico da própria estaca

$p_s$  = deformações do solo

Por conseguinte, considerados os dois efeitos mencionados, a cabeça da estaca sofrerá um recalque, ou um deslocamento total, vertical, para baixo, expresso pela Equação 17:

$$p = p_e + p_s \quad (\text{Eq. 17})$$

Na referência de Cintra e Aoki (2010), os autores apresentam uma abordagem detalhada que envolve o uso de métodos e fórmulas para determinar o encurtamento da estaca e o recalque do solo.

- Encurtamento elástico

Para o cálculo do encurtamento elástico, é realizado o diagrama de esforço normal ao longo da estaca por meio de uma metodologia adaptada de Aoki (1979), juntamente com a lei de Hooke, para obtenção da Equação 18:

$$pe = \frac{1}{A \cdot E_c} \cdot \sum(P_i \cdot L_i) \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde  $A$  é a área da seção transversal do fuste da estaca e  $E_c$  é o módulo de elasticidade do concreto, suposto constante.

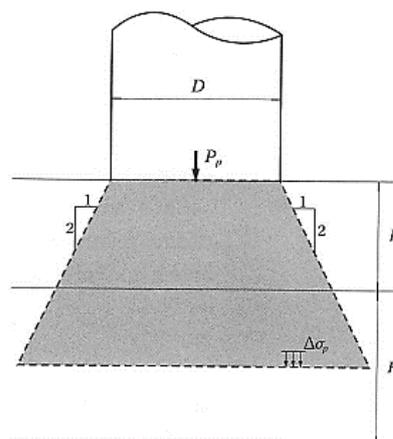
- Recalques do solo

Para determinar o valor total de recalque do solo, é necessário dividir o solo em parcelas e considerar o recalque resultante da resistência de ponta da estaca, bem como da resistência lateral da estaca. Isso implica em analisar separadamente os recalques causados por esses dois fatores para obter o valor total de recalque do solo

Na determinação da parcela de recalque devido à resistência de ponta da estaca, inicialmente faz-se a suposição de que as tensões na ponta da estaca se propagam na proporção de 1:2 (Figura 11). Isso significa que o aumento das tensões ao longo da linha média é duas vezes maior do que o aumento das tensões na ponta da estaca. Essa relação é utilizada para calcular o acréscimo de tensões ao longo da linha média, pela Equação 19:

$$\Delta\sigma_p = \frac{4 P_p}{\pi (D+h+\frac{H^2}{2})} \quad (\text{Eq. 19})$$

**Figura 11: Propagação de tensões devido à reação de ponta**

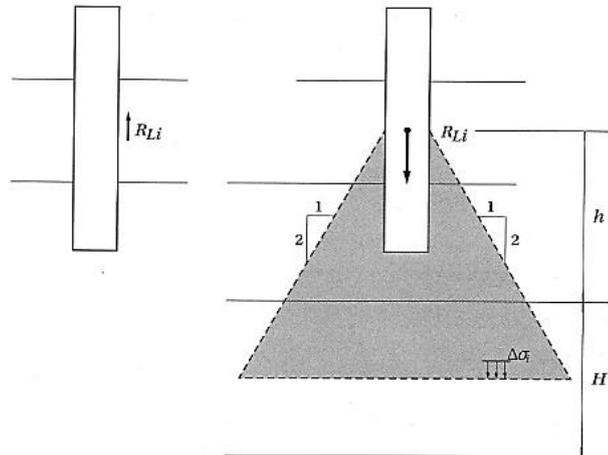


**Fonte: Cintra e Aoki (2010)**

De maneira análoga, é calculada as parcelas referentes a resistência lateral da estaca (Figura 12), a partir da Equação 20:

$$\Delta\sigma_i = \frac{4 R_{Li}}{\pi (D+h+\frac{H}{2})^2} \quad (\text{Eq. 20})$$

**Figura 12: Propagação de tensões devido às cargas laterais**



**Fonte: Cintra e Aoki (2010)**

Sendo assim, levando em conta todas as parcelas obtidas, mais a força  $P_p$ , o acréscimo total de tensões ( $\Delta\sigma$ ) na camada será dado pela Equação 21:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_p + \sum \Delta\sigma_i \quad (\text{Eq. 21})$$

Por conseguinte, o recalque devido ao solo pode ser estimado pela Teoria da Elasticidade, calculado pela Equação 22:

$$p_s = \sum \left( \frac{\Delta\sigma}{E_s} H \right) \quad (\text{Eq. 22})$$

Es sendo o módulo de deformabilidade da camada de solo, pode ser calculado pela Equação 23:

$$E_s = E_o \left( \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} \right)^n \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde  $E_o$  é o módulo de deformabilidade do solo antes da execução da estaca,  $\sigma$  é a tensão geostática no centro da camada e  $n$  é o expoente que depende da natureza do solo.

Para o  $E_o$  pode ser considerados alguns valores padrões, recomendados por Aoki (1984), sendo eles:

$$E_o = 6 \times K \times N_{SPT} \text{ para estacas cravadas}$$

$$E_o = 4 \times K \times N_{SPT} \text{ para estacas hélice contínua}$$

$$E_o = 3 \times K \times N_{SPT} \text{ para estacas escavadas}$$

#### 2.4.1.5 Métodos de previsão de recalque segundo a literatura

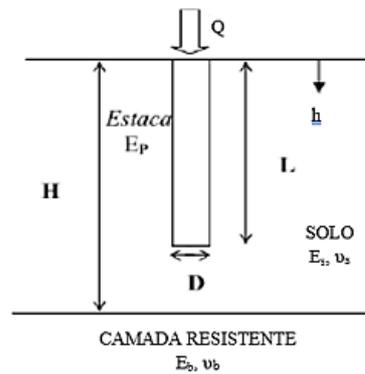
A observação e o controle do recalque e das cargas atuantes nas fundações são fundamentais para um projeto de fundações racional, seguro e econômico (BARROS, 2012). Apesar disso, não é incomum que esta etapa de controle seja muitas vezes negligenciada (ALONSO, 1991).

Atualmente, as metodologias utilizadas para estimar recalques em estacas isoladas podem ser agrupadas em três categorias: métodos baseados na Teoria da Elasticidade, métodos semiempíricos e métodos numéricos.

- **Métodos baseados na Teoria da Elasticidade**
  - Poulos e Davis

Segundo a Figura 13 são definidos os parâmetros, geometria e contorno, utilizados no cálculo do recalque de estacas.

**Figura 13: Obtenção dos parâmetros.**



**Fonte: Adaptado de Magalhães, 2005**

Onde  $E_s$  é Módulo de Elasticidade do solo,  $E_b$  é o módulo de elasticidade da camada resistente de solo,  $\nu_s$  é o Coeficiente de Poisson do solo e  $\nu_b$  É coeficiente de poisson da camada resistente de solo.

A rigidez relativa do material da estaca em relação ao solo, pode ser determinada com a Equação 29:

$$Kp = \frac{E_p}{E_s} \cdot R_A \quad (\text{Eq. 29})$$

O fator de influência para estacas compressíveis, em solo de espessura finita com ponta em material resistente em valores para o coeficiente de Poisson consiste na Equação 30:

$$I = I_0 \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\nu \cdot R_b \quad (\text{Eq. 30})$$

Onde,  $I_0$  é o fator de influência do recalque para estaca incompressível na massa semi-infinita;  $R_k$  é o fator de correção para compressibilidade da estaca;  $R_h$  é o fator de correção para profundidade finita de solo compressível;  $R_\nu$  é a correção para o coeficiente de poisson do solo e  $R_b$  é o fator de correção para a base ou ponta em solo mais rígido.

Poulos e Davis (1980) utilizam gráficos para a determinação dos fatores de correção.

Por fim, a solução para a determinação do recalque de estacas é dada pela Equação 31:

$$W = \frac{P \cdot I}{E \cdot D} \quad (\text{Eq. 31})$$

- Randolph e Wroth (1979) estendido por Lee (1993)

Lee (1993) propôs uma extensão para a equação de previsão de recalque sugerida por Randolph e Wroth (1978) para estacas isoladas. A Equação 32 representa a proposta:

$$w = \frac{G_L \cdot r_0}{Q} \left( \frac{1 + \frac{4 \cdot L}{\eta \cdot (1-\nu) \cdot \pi \cdot \lambda \cdot r_0} \frac{\tanh(\nu \cdot L)}{\nu \cdot L}}{\frac{4}{\eta \cdot (1-\nu)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot L \cdot \tanh(\nu \cdot L)}{\zeta \cdot r_0 \cdot \nu \cdot L}} \right) \quad (\text{Eq. 32})$$

- Métodos semiempíricos

Os métodos semiempíricos são aqueles que utilizam correlações com ensaios de campo para determinar o recalque. Essas correlações são elaboradas a partir do Standard Penetration Test (SPT).

- Vesic (1975)

O método de previsão de recalque proposto por Vésic (1969, 1975a) admite a ideia de que o deslocamento total de uma fundação profunda é resultado da soma de três parcelas de recalque. Uma parcela devido ao encurtamento elástico da estaca ( $S_e$ ), outra parcela devido ao recalque do solo que receberá a carga de ponta ( $S_p$ ) e a terceira referente ao recalque do solo devido às cargas de atrito lateral ( $S_f$ ), transmitidas ao longo do fuste, conforme equação 33.

$$S = S_e + S_p + S_f \quad (\text{Eq. 33})$$

$S$  = Recalque total

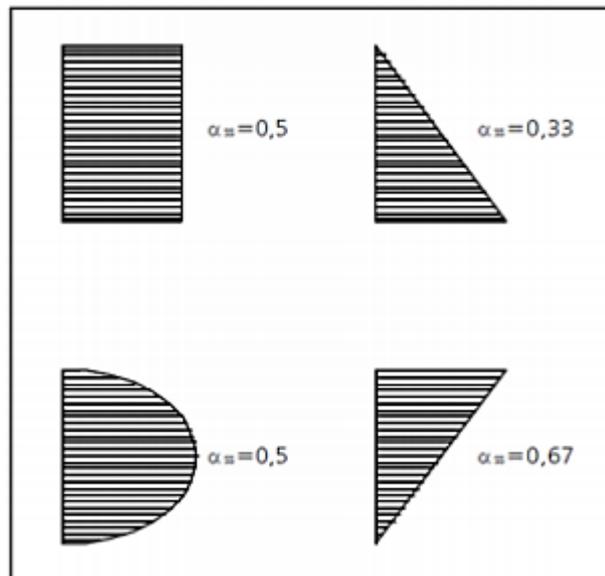
O recalque devido ao encurtamento elástico da estaca ( $S_e$ ) é calculado em função da distribuição do atrito lateral e do valor de carga de ponta, através da equação 34:

$$S_e = (Q_p + \alpha_{ss} + Q_{lat}) \times \frac{L}{A \cdot E_c} \quad (\text{Eq. 34})$$

Onde,  $Q_p$  = carga na ponta no estágio de carregamento (kN);  $Q_{lat}$  = carga lateral no estágio de carregamento (kN);  $A$  = área da seção transversal da estaca ( $\text{m}^2$ );  $E_c$  = módulo de elasticidade do material da estaca (Mpa);  $\alpha_{ss}$  = fator que depende da distribuição do atrito ao longo do fuste;  $L$  = comprimento da estaca (m)

Já o recalque proveniente do recalque do solo, que recebe a carga de ponta ( $s_p$ ), é determinado segundo a equação 35. Vésic (1969, 1975a) propõe os seguintes valores para o  $\alpha_{ss}$  ilustrados na Figura 14.

**Figura 14: Fator de distribuição de atrito**



**Fonte: Vésic (1969,1975a)**

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{\phi \cdot q_p} \quad (\text{Eq. 35})$$

Sendo  $\phi$  = diâmetro da estaca (m);  $C_p$  = coeficiente que depende do tipo de solo e do tipo de estaca;  $Q_p$  = reação de ponta da estaca (kN);  $q_p$  = carga na ponta no estágio de carregamento (kN);

Sendo  $q_p$  calculado conforme Equação 36:

$$qp = c.Nc + q.Nq + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \quad (\text{Eq. 36})$$

E por fim, o recalque do solo devido à distribuição de carga no fuste segue a Equação 37:

$$Sf = \frac{C_s \cdot Q_{lat}}{L \cdot qp} \quad (\text{Eq. 37})$$

$C_s$  = coeficiente que depende do tipo de solo e do tipo de estaca, obtido através de dados da Equação 38. Os valores de  $C_p$  podem ser obtidos pela Tabela 12.

**Tabela 12: Valor de  $C_p$  utilizados no método de Vésic (1969,1975)**

| Tipo de Solo         | Tipo de Estaca |                 |
|----------------------|----------------|-----------------|
|                      | Estaca cravada | Estaca escavada |
| Areia (densa a fofa) | 0,02 – 0,04    | 0,09 – 0,18     |
| Argila (rija a mole) | 0,02 – 0,04    | 0,04 – 0,08     |
| Silte (denso a fofo) | 0,03 – 0,05    | 0,09 – 0,12     |

Fonte: Vésic (1969,1975a)

$$C_s = \left( 0,93 + 0,16 \times \sqrt{\frac{L}{\phi}} \right) \times C_p \quad (\text{Eq. 38})$$

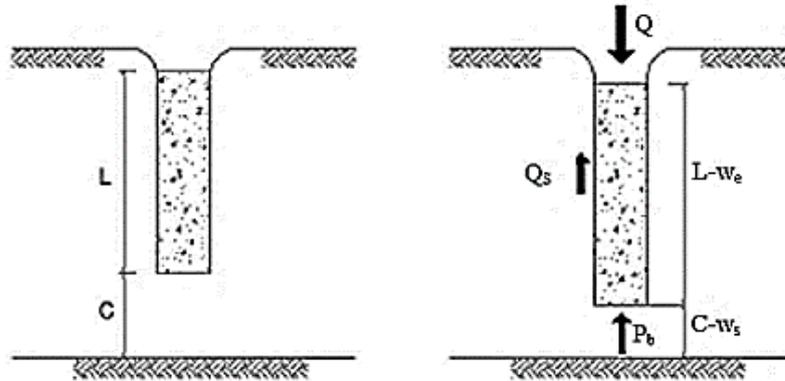
Onde,  $C_s$  e  $C_p$  = coeficiente empíricos que dependem do tipo de solo e do tipo da estaca;  $L$  = comprimento da estaca, em m;  $\phi$  = diâmetro da estaca, em m;

- o Aoki (1979, 1984)

No método proposto por Aoki (1979) o recalque é estimado segundo as equações de Mindlin (1936). É importante que para ser aplicado, a camada de solo adjacente à estaca seja: homogêneo, isotrópico, elástico-linear e semi-infinito.

Na Figura 15 são definidos os parâmetros geométricos utilizados no cálculo do recalque de estacas da solução de Aoki (1979).

Figura 15: Parcelas de recalque da estaca (a) estaca descarregada e sem recalque; (b) recalque após a aplicação do carregamento.



Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Onde  $C$  é a distância da base à superfície indeslocável,  $W_e$  é o encurtamento elástico e  $W_s$  é o recalque da base.

Os módulos de elasticidade adotados são representados por Cintra e Aoki (2010), os quais são apresentados na Tabela 13.

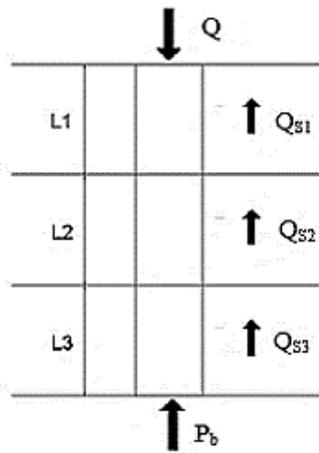
Tabela 13: Valores de  $E_p$  para diferentes tipos de estacas

| Estaca                               | Valores de $E_p$ (GPA) |
|--------------------------------------|------------------------|
| Strauss<br>Escavada a seco           | 18                     |
| Hélice Contínua<br>Franki<br>Estacão | 21                     |
| Pré-moldada                          | 28 a 30                |
| Aço                                  | 210                    |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

O encurtamento elástico consiste no deslocamento do elemento de fundação oriundo da aplicação do carregamento. Segundo esse método, o cálculo desse deslocamento deve ser orientado segundo a Figura 16, onde ilustra a resistência ao atrito lateral em cada camada de solo e a carga na ponta.

Figura 16: Diagrama de esforço normal da Estaca.



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Desse modo, aplicando-se a Lei de Hooke ao sistema apresentado, o valor do encurtamento elástico pode ser obtido de acordo com a Equação 39:

$$W_e = \frac{1}{A_s E_p} \sum (Q_{si} \cdot \Delta l_i) \quad (\text{Eq. 39})$$

Onde  $Q_{si}$  é Força de compressão média atuante,  $\Delta l_i$  é Comprimento da subdivisão da estaca,  $A_s$  é a área lateral do fuste da estaca e  $E_p$  é o módulo de elasticidade do concreto.

Na Tabela 14, são apresentados valores sugeridos para o módulo de deformabilidade do solo.

Tabela 14: Valor de E0 sugeridos

| Estaca          | Valores de E <sub>0</sub> (GPA) |
|-----------------|---------------------------------|
| Cravadas        | 6 x K x NSPT                    |
| Hélice Contínua | 4 x K x NSPT                    |
| Escavadas       | 3 x K x NSPT                    |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Devido a aplicação do carregamento, as camadas de solo situadas entre a base da estaca e a superfície do indeslocável sofrem deformações que resultam no recalque do solo, o qual pode ser dividido em duas parcelas, conforme a Equação 40:

$$W_s = W_{s,p} + W_{s,l} \quad (\text{Eq. 40})$$

Onde,  $W_{s,p}$  é o recalque devido à reação de ponta e  $W_{s,l}$  é o recalque relativo à reação às cargas laterais.

Dessa forma, é possível estimar o recalque do solo nas camadas de solo até a camada indeslocável utilizando a Teoria da Elasticidade Linear, de acordo com a Equação 41:

$$W_s = \sum \left( \frac{\Delta\sigma \cdot H}{E_s} \right) \quad (\text{Eq. 41})$$

O deslocamento no topo da estaca será dado pela soma do encurtamento elástico e o recalque do solo, segundo a Equação 42:

$$W = W_e + W_s \quad (\text{Eq. 42})$$

- Bowles (2001)

Inicialmente, o deslocamento de cada segmento do comprimento do fuste ( $\Delta L_i$ ) é calculado conforme a Equação 43.

$$W_{ei} = \frac{Q_{med} \cdot \Delta L_i}{A_{med} \cdot E_p} \quad (\text{Eq. 43})$$

Portanto, a compressão axial total da estaca consiste no somatório dos deslocamentos dos segmentos, conforme Equação 44:

$$W_e = \sum \Delta W_{ei} \quad (\text{Eq. 44})$$

Calcula-se o recalque da base da estaca de acordo com a Equação 45:

$$W_p = Q \cdot D \cdot \frac{(1-v^2)}{E_s} \cdot m \cdot I_s \cdot I_F \cdot F1 \quad (\text{Eq. 45})$$

Onde  $m. I_s = 1$  é o fator de forma;  $IF$  = Fator de embutimento com os seguintes valores ( $IF = 0,55$  se  $L/D \leq 5$ ;  $IF = 0,5$  se  $L/D > 5$ );  $\nu = 0,35$ ;  $E_s = 500 (N+15)$  em kPa;  $F_1$  = Fator de redução variando entre valores de  $0,25$  se a resistência lateral reduz a carga de ponta  $P_p \leq 0$  ;  $0,5$  se a carga na ponta  $P_p > 0$  ;  $0,75$  se houver apenas carga de ponta.

Por fim, soma-se o recalque axial e o recalque da ponta para se obter o recalque total, conforme Equação 46:

$$w = w_e + w_p \quad (\text{Eq. 46})$$

- **Recalque por adensamento**

**Solos Normalmente Adensados (NA)** ->  $\sigma'_{vm} = \sigma'_{v0}$ , conforme Equação 47:

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cc \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_{v0}}{\sigma'_{vm}} \right] \quad (\text{Eq. 47})$$

Onde  $\Delta H$  = recalque por adensamento para argilas normalmente adensadas;  $Cc$  = índice de compressão;  $e_0$  = índice de vazios inicial;  $\sigma'_{vm}$  = tensão de pré-adensamento;  $\Delta\sigma'_{v0}$  = acréscimo de tensão efetiva no centro da camada

**Solos pré-adensados (PA)** ->  $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_{v0} > \sigma'_{vm}$ , conforme Equação 48:

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cr \cdot \log \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} + Cc \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_{v0}}{\sigma'_{vm}} \right] \quad (\text{Eq. 48})$$

Onde  $Cr$  = índice de recompressão

**Solos pré-adensados (PA)** ->  $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_{v0} \leq \sigma'_{vm}$ , conforme Equação 49:

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} \left[ Cr \cdot \log \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_{v0}} \right] \quad (\text{Eq. 49})$$

## 2.5 Relatórios de sondagem

O perfil geotécnico é uma representação gráfica que fornece informações detalhadas sobre as características geotécnicas do solo em função da sua profundidade. É composto por várias colunas, cada uma contendo dados específicos, como resistência, densidade, permeabilidade e outras propriedades relevantes. Essas colunas são organizadas de acordo com a profundidade do solo, permitindo uma análise visual e comparativa das propriedades do solo ao longo do perfil.

Segundo a Tabela 15 da apresentada na NBR 6484/2020 (ABNT, 2020), tem-se a síntese da classificação em função do índice de resistência.

**Tabela 15: Estados de compactidade e resistência de uma amostra de solo**

| Solo                       | Índice de resistência à penetração<br>N | Designação <sup>1)</sup> |
|----------------------------|---|--------------------------|
| Areias e siltes arenosos   | ≤ 4                                     | Fofa(o)                  |
|                            | 5 a 8                                   | Pouco compacta(o)        |
|                            | 9 a 18                                  | Medianamente compacta(o) |
|                            | 19 a 40                                 | Compacta(o)              |
|                            | > 40                                    | Muito compacta(o)        |
| Argilas e siltes argilosos | ≤ 2                                     | Muito mole               |
|                            | 3 a 5                                   | Mole                     |
|                            | 6 a 10                                  | Média(o)                 |
|                            | 11 a 19                                 | Rija(o)                  |
|                            | > 19                                    | Dura (o)                 |

<sup>1)</sup> As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

**Fonte: ABNT NBR 6484:2020**

Realizar a interpretação dos relatórios de ensaios geotécnicos é de suma importância para avaliar a classificação do solo e determinar sua aptidão para receber o tipo de estaca a ser dimensionada. Essa análise minuciosa permite identificar as propriedades e características geotécnicas do solo, como resistência, compressibilidade, permeabilidade, entre outras, que são fundamentais para garantir a estabilidade e segurança das estruturas. Portanto, é imprescindível dedicar atenção especial à interpretação desses relatórios, a fim de tomar decisões embasadas e adequadas ao projeto geotécnico.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Partindo de uma planilha base elaborada por Garbellotto (2023), foram ampliadas as funcionalidades e tipos de análises que podiam ser feitas, incluindo os tipos de estacas enfatizadas neste trabalho, bem como uma avaliação de recalques, imediato e por adensamento, este segundo quando necessário, fornecendo assim maiores informações para a tomada de decisão do usuário.

A planilha de Garbellotto (2023), possui funcionalidade para escolher o tipo mais apropriado de fundação, envolvendo estacas escavadas, tubulões e sapatas, para um determinado tipo de solo a partir de dados inseridos de sondagem, e realização de pré-dimensionamento das fundações com uma análise gráfica dos acréscimos de tensões no solo.

O programa computacional do presente trabalho foi integralmente desenvolvido na plataforma *Microsoft Excel*<sup>®</sup>, fazendo uso de recursos avançados, como macros e tabelas interativas. Essa abordagem permitiu a criação de múltiplas planilhas dedicadas a diferentes aspectos do projeto geotécnico, as quais abrangem desde a análise de sondagens até o dimensionamento de fundações em estacas pré-moldadas, estacas hélice contínua e estacas escavadas com fluido estabilizante. Além disso, o programa também se mostrou capaz de realizar cálculos relacionados ao acréscimo de tensões no solo e previsões de recalque para as estacas. A utilização dessas funcionalidades do *Microsoft Excel*<sup>®</sup> pode proporcionar uma interface intuitiva e eficiente para a análise geotécnica, auxiliando os profissionais envolvidos no projeto a tomarem decisões embasadas e confiáveis.

Os métodos de cálculo empregados foram baseados nas obras dos autores Cintra, Aoki e Albiero (2011), Cintra e Aoki (2010) e Souza Pinto (2006), cujas abordagens serão descritas nas próximas seções. Essas referências bibliográficas foram selecionadas devido à sua relevância e rigor técnico, fornecendo embasamento teórico sólido para os cálculos realizados no presente estudo.

#### 3.1 Pesquisa de mercado

A fim de dar embasamento ao presente estudo, foi realizada uma busca de mercado na cidade de Pato Branco-PR, com o propósito de identificar os tipos de

estacas relevantes para estudos de construções de médio a grande porte. Para tal fim, foram consultadas oito empresas construtoras locais, por meio de um questionário realizado via telefone.

### **3.2 Planilha SPT**

A primeira planilha do programa computacional é dedicada à inserção dos dados obtidos a partir do ensaio de sondagem tipo *Standard Penetration Test* (SPT). Ela contém informações essenciais, como o endereço e a data da obra, os valores de  $N_{SPT}$ , o nível de água no solo e a identificação dos tipos de solo encontrados em cada metro de profundidade. Esses dados são fundamentais para a análise geotécnica e serão utilizados como base para os cálculos subsequentes no programa.

Optou-se por limitar as informações da sondagem tipo SPT a uma profundidade de 25 metros, visando simplificar o desenvolvimento do programa. No entanto, é importante ressaltar que essa limitação pode ser posteriormente ampliada, permitindo uma análise mais abrangente e detalhada do perfil do solo. Essa flexibilidade permite que o programa seja adaptado de acordo com as necessidades específicas de cada projeto geotécnico.

Os tipos de solo foram baseados de acordo com os valores propostos por Cintra e Aoki (2010), dividindo-se em três grandes grupos de argilas, areias e siltes (Tabela 16)

**Tabela 16: Tipos de Solo utilizados no programa**

| <b>Solo</b>          | <b>K (MPa)</b> | <b><math>\alpha</math> (%)</b> |
|----------------------|----------------|--------------------------------|
| Areia                | 1000           | 1,40                           |
| Areia Siltosa        | 800            | 2,00                           |
| Areia Siltoargilosa  | 700            | 2,40                           |
| Areia argilosa       | 600            | 3,00                           |
| Areia arlossiltosa   | 500            | 2,80                           |
| Silte                | 400            | 3,00                           |
| Silte arenoso        | 550            | 2,20                           |
| Silte arenoargiloso  | 450            | 2,80                           |
| Silte argiloso       | 230            | 3,40                           |
| Silte argiloarenoso  | 250            | 3,00                           |
| Argila               | 200            | 6,00                           |
| Argila Arenosa       | 350            | 2,40                           |
| Argila arenossiltosa | 300            | 2,80                           |
| Argila Siltosa       | 220            | 4,00                           |
| Argila siltoarenosa  | 330            | 3,00                           |

**Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)**

Após a inserção dos dados de SPT, o usuário deverá responder um questionário a fim de tornar mais assertiva a sugestão do tipo de estaca. São perguntas sobre inclinação de terreno, disponibilidade de equipamentos, vizinhança e resistência do solo. As soluções propostas por meio da análise de sondagem consistem em recomendações ao usuário, baseadas em uma série de fatores que vão além dos valores obtidos na sondagem. Esses fatores incluem a presença de construções vizinhas, a topografia do terreno, a disponibilidade de equipamentos, a infraestrutura do canteiro de obras e outros elementos relevantes. Portanto, é importante considerar esses aspectos para determinar o tipo adequado de fundação a ser utilizado.

Após a inserção dos dados do SPT, o usuário deverá clicar no botão “Analisar”, o qual será redirecionado a uma nova aba, contendo opções de qual tipo de estaca utilizar de acordo com os dados da sondagem e perguntas respondidas. A análise é

realizada por meio de macros e da fórmula “=SE”, conforme Figura 17, a qual realizará as recomendações.

Foram elaboradas 6 perguntas no checklist, as quais devem ser respondidas pelo usuário somente com “SIM” ou “NÃO”. Essas perguntas dão ao todo 51 (cinquenta e uma) possibilidades de conjuntos de respostas, e para cada conjunto, há um tipo de solução, juntamente com a análise da sondagem.

**Figura 17: Fórmula “=SE” para análise da sondagem e checklist**

```
=SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I3;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K3;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I4;K4;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I5;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K5;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I6;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K6;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I7;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K7;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I8;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K8;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I9;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K9;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I10;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K10;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I11;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K11;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I12;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K12;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I13;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K13;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I14;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K14;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I15;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K15;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I16;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K16;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I17;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K17;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I18;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K18;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I19;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K19;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I20;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K20;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I21;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K21;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I22;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K22;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I23;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K23;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I24;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K24;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I25;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K25;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I26;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K26;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I27;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K27;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I28;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K28;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I29;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K29;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I30;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K30;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I31;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K31;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I32;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K32;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I33;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K33;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I34;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K34;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I35;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K35;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I36;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K36;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I37;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K37;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I38;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K38;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I39;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K39;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I40;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K40;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I41;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K41;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I42;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K42;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I43;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K43;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I44;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K44;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I45;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K45;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I46;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K46;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I47;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K47;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I48;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K48;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I49;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K49;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I50;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K50;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I51;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K51;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I52;'ANÁLISE DA SONDAAGEM'!K52;SE('DADOS SPT!G47='ANÁLISE DA SONDAAGEM'!I53;'ANÁLISE DA
```

**Fonte: Autoria própria, 2024**

A escolha do tipo de fundação adequado para as possibilidades supracitadas, foram baseadas em eliminação, baseando-se nas características de cada fundação e recomendações, bem como vantagens e desvantagens de cada uma. O questionário foi elaborado com o objetivo de abranger principais pontos, sendo eles: mão de obra, vizinhança, cronograma, declividade do terreno, geologia e sondagem. A partir das respostas, tem-se a árvore de decisões.

Cada resposta “SIM” ou “NÃO”, possuem possibilidades de respostas, as quais vão direcionar para a resposta mais apropriada. Por exemplo, se as respostas forem “SIM, SIM, SIM, NÃO, NÃO, SIM”, a opção que mais aparece entre as estacas, é a estaca escavada, conforme a Figura 18.

**Figura 18: Conjunto de opções de respostas para o questionário**

| PERGUNTA 1             |                 |
|------------------------|-----------------|
| SIM                    | NÃO             |
| ESTACA ESCAVADA        | ESTACA ESCAVADA |
| ESTACA HÉLICE CONTÍNUA | ESTACA FRANKI   |
| ESTACA FRANKI          |                 |
| ESTACA PRÉ-MOLDADA     |                 |

| PERGUNTA 4         |                        |
|--------------------|------------------------|
| SIM                | NÃO                    |
| ESTACA ESCAVADA    | ESTACA ESCAVADA        |
| ESTACA FRANKI      | ESTACA FRANKI          |
| ESTACA PRÉ-MOLDADA | ESTACA PRÉ-MOLDADA     |
|                    | ESTACA HÉLICE CONTÍNUA |

| PERGUNTA 2             |                        |
|------------------------|------------------------|
| SIM                    | NÃO                    |
| ESTACA ESCAVADA        | ESTACA ESCAVADA        |
| ESTACA HÉLICE CONTÍNUA | ESTACA HÉLICE CONTÍNUA |
|                        | ESTACA FRANKI          |
|                        | ESTACA PRÉ-MOLDADA     |

| PERGUNTA 5         |                        |
|--------------------|------------------------|
| SIM                | NÃO                    |
| ESTACA ESCAVADA    | ESTACA ESCAVADA        |
| ESTACA PRÉ-MOLDADA | ESTACA FRANKI          |
|                    | ESTACA PRÉ-MOLDADA     |
|                    | ESTACA HÉLICE CONTÍNUA |

| PERGUNTA 3         |                        |
|--------------------|------------------------|
| SIM                | NÃO                    |
| ESTACA FRANKI      | ESTACA ESCAVADA        |
| ESTACA ESCAVADA    | ESTACA HÉLICE CONTÍNUA |
| ESTACA PRÉ-MOLDADA | ESTACA FRANKI          |
|                    | ESTACA PRÉ-MOLDADA     |

| PERGUNTA 6             |                    |
|------------------------|--------------------|
| SIM                    | NÃO                |
| ESTACA FRANKI          | ESTACA PRÉ-MOLDADA |
| ESTACA HÉLICE CONTÍNUA |                    |
| ESTACA ESCAVADA        |                    |

**Fonte: Autoria própria, 2024**

Após a conclusão da análise da sondagem, o usuário é responsável por selecionar o tipo de fundação a ser dimensionado.

Por meio do uso de macros, ao clicar em um desses botões, o usuário será redirecionado para a próxima planilha desejada, permitindo-lhe explorar diferentes opções de fundação. Além disso, é possível retornar à planilha anterior a qualquer momento ou até mesmo alterar a escolha inicial da fundação. Essa funcionalidade oferece flexibilidade e facilidade de navegação durante o processo de dimensionamento.

Opções de botões que serão oferecidas:

- Dimensionar para Estaca pré-moldada;
- Dimensionar para Estaca Franki;
- Dimensionar para Estaca Hélice Contínua;
- Dimensionar para Estaca escavada com fluido estabilizante;
- Voltar para início;

### 3.3 Dimensionamento de estacas

Para o dimensionamento das estacas, se faz necessário que o usuário insira informações necessárias para o funcionamento da planilha, sendo elas: a nomenclatura do pilar desejado, a carga do pilar de acordo com a unidade de medida indicada na planilha e o diâmetro da estaca. Os diâmetros para cada tipo de estaca foram retirados da literatura Cintra e Aoki (2010), conforme Tabelas 17, 18, 19 e 20.

**Tabela 17: Diâmetro da estaca escavada e respectiva carga de catálogo**

| Cargas de Catálogo |               |                        |
|--------------------|---------------|------------------------|
| Estaca             | Dimensão (cm) | Carga de catálogo (kN) |
| Escavada           | 25            | 250                    |
|                    | 30            | 360                    |
|                    | 35            | 490                    |
|                    | 40            | 640                    |
|                    | 45            | 810                    |
|                    | 50            | 1000                   |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

**Tabela 18: Diâmetros da estaca hélice contínua e respectiva carga de catálogo**

| Cargas de Catálogo |               |                        |
|--------------------|---------------|------------------------|
| Estaca             | Dimensão (cm) | Carga de catálogo (kN) |
| Hélice Contínua    | 27,5          | 350                    |
|                    | 30            | 450                    |
|                    | 35            | 600                    |
|                    | 40            | 800                    |
|                    | 42,5          | 900                    |
|                    | 50            | 1250                   |
|                    | 60            | 1800                   |
|                    | 70            | 2450                   |
|                    | 80            | 3200                   |
|                    | 90            | 4000                   |
|                    | 100           | 5000                   |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

**Tabela 19: Diâmetros da estaca Franki e respectiva carga de catálogo**

| Cargas de catálogo |               |                        |
|--------------------|---------------|------------------------|
| Estaca             | Dimensão (cm) | Carga de catálogo (kN) |
| Franki             | 30            | 450                    |
|                    | 35            | 550                    |
|                    | 40            | 800                    |
|                    | 52            | 1300                   |
|                    | 60            | 1700                   |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Tabela 20: Diâmetros da estaca pré-moldada e respectiva carga de catálogo

| Cargas de Catálogo                                      |               |                        |
|---|---------------|------------------------|
| Estaca  | Dimensão (cm) | Carga de catálogo (kN) |
| Pré-moldada vibrada quadrada e = 6 a 10 MPa             | 20 x 20       | 400                    |
|   | 25 x 25       | 600                    |
|   | 30 x 30       | 900                    |
|   | 35 x 35       | 1200                   |
| Pré-moldada vibrada circular e = 9 a 11 Mpa             | 22            | 400                    |
|   | 29            | 600                    |
|   | 33            | 800                    |
| Pré-moldada protendida vibrada circular e = 10 a 14 Mpa | 20            | 350                    |
|   | 25            | 600                    |
|   | 33            | 900                    |
| Pré-moldada centrifugada e = 9 a 11 MPa (seção vazada)  | 20            | 300                    |
|   | 23            | 400                    |
|   | 26            | 500                    |
|   | 33            | 750                    |
|   | 38            | 900                    |
|   | 42            | 1150                   |
|   | 50            | 1700                   |
|   | 60            | 2300                   |
| 70  | 3000          |                        |

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)

Para o dimensionamento, foi utilizado o método proposto por Aoki-Velloso, apresentado nas literaturas de Cintra e Aoki (2010). Para o desenvolvimento dos cálculos e obtenção da resistência admissível do solo, foram utilizadas as Equações 12, 13, 14 e 15, apresentadas no referencial deste trabalho.

Após a obtenção dos valores de resistência admissível do solo, o programa realiza uma consideração e comparação, utilizando a menor resistência entre a resistência admissível e a resistência estrutural da estaca, adotando a menor entre elas para cada camada de solo. As resistências estruturais foram as mesmas das Tabelas 17, 18, 19 e 20.

O usuário poderá e deverá escolher a profundidade desejada, e clicar em dimensionar, para que o programa realize o dimensionamento das estacas apresentando a solução, informando o número de estacas necessária para a profundidade determinada.

O programa também irá realizar o cálculo de limitação de profundidade para as estacas, levando em consideração o  $N_{lim}$  para cada método executivo e a profundidade em que a resistência estrutural do elemento se torna menor do que a tensão admissível do solo. A ideia é que se o usuário selecionar uma profundidade

superior à profundidade limite calculada, o programa indicará que não é possível, e que a profundidade ultrapassa o limite.

Os valores para o  $N_{lim}$  foram retirados na literatura de Cintra e Aoki (2010), conforme Tabela 21.

**Tabela 21: Valores de  $N_{lim}$  para cada tipo de estaca**

| Tipo de estaca               |                    | $N_{lim}$                        |
|------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Pré-moldada de concreto      | < 30 cm            | 15 $N_{lim}$ 25 - $N_{spt} = 80$ |
|                              | > 30 cm            | 25 $N_{lim}$ 35                  |
| Perfil metálico              |                    | 25 $N_{lim}$ 55                  |
| Turbada (oca, ponta fechada) |                    | 20 $N_{lim}$ 40                  |
| Strauss                      |                    | 10 $N_{lim}$ 25                  |
| Franki                       | Em solos arenosos  | 8 $N_{lim}$ 15                   |
|                              | Em solos argilosos | 20 $N_{lim}$ 40                  |
| Ômega                        |                    | 20 $N_{lim}$ 40                  |
| Raiz                         |                    | $N_{lim}$ 60 (penetra rocha sã)  |

**Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010)**

Após, o usuário poderá prosseguir com o dimensionamento, ou poderá escolher voltar à planilha do SPT.

### 3.4 Planilhas: previsões de recalque

Após a conclusão do processo de dimensionamento, o usuário terá a oportunidade de selecionar se deseja incluir as previsões de recalques na estaca no relatório final. Para realizar esses cálculos, foram empregados os métodos de Aoki (1979) para recalque imediato e de Terzaghi (1925 apud SOUZA PINTO, 2006) para o recalque por adensamento, ambos amplamente reconhecidos.

Os resultados obtidos foram apresentados de forma numérica, em função da carga aplicada. É importante ressaltar que estes métodos fornecem valores os quais somados devem estar abaixo dos valores admissíveis definidos em normas técnicas ou na própria literatura, a fim de evitar possíveis problemas estéticos e estruturais às obras.

### **3.5 Geração de relatório em PDF**

Após a finalização do dimensionamento pelo programa, o usuário tem a possibilidade de visualizar o relatório final, gerado em formato pdf automaticamente para o tipo de estaca escolhida, onde é apresentado as informações do SPT, tipo de solo, dados do pilar, carga, dimensionamento geométrico e geotécnico e previsões de recalque na estaca.

As células das planilhas de relatório serão bloqueadas aos usuários, a fim de não permitir que os mesmos façam alterações que possam comprometer o funcionamento da planilha em virtude da alteração de dados.

Os modelos de relatórios podem ser visualizados nos anexos E e F.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de realizar a validação do programa desenvolvido, foi utilizado um laudo de sondagem realizado na cidade de Pato Branco – PR.

### 4.1 Pesquisa de mercado

A fim de desenvolver um programa computacional mais assertivo para a cidade de Pato Branco – PR, foi realizada uma pesquisa de mercado, para identificar os tipos de estacas mais utilizadas em construções de médio a grande porte, conforme Tabela 22.

**Tabela 22: Resultado da pesquisa de mercado na cidade de Pato Branco-PR**

| <b>Construtora</b> | <b>Tipo de estaca mais utilizada</b> |
|--------------------|--------------------------------------|
| Construtora 1      | Estaca Franki                        |
| Construtora 2      | Estaca Franki                        |
| Construtora 3      | Estaca Escavada                      |
| Construtora 4      | Estaca Franki                        |
| Construtora 5      | Estaca Escavada                      |
| Construtora 6      | Estaca Escavada e Franki             |
| Construtora 7      | Sapata e Estaca Escavada             |
| Construtora 8      | Pré-moldada e Hélice Contínua        |

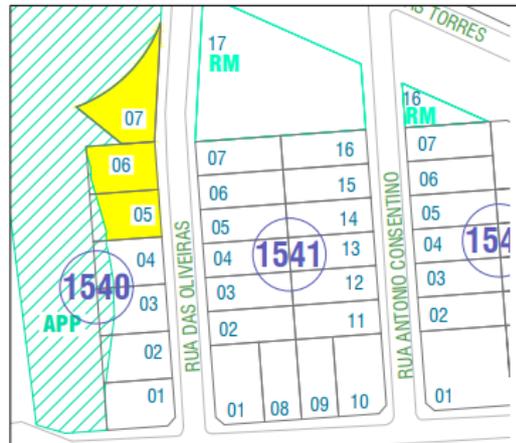
**Fonte: Autoria própria, 2024**

Foram constatados que a mais utilizada é a estaca Franki, seguida da Estaca escavada, hélice contínua e pré-moldada, respectivamente.

### 4.2 Apresentação do estudo

Para a validação do programa desenvolvido, foi escolhido um estudo realizado na cidade de Pato Branco – PR, O Departamento de Construção Civil, em conjunto com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da UTFPR, campus Pato Branco, realiza estudos e projetos no Município de Pato Branco a bastante tempo, em especial os referentes a uso e ocupação do solo, proteção do meio ambiente e na análise de áreas de risco, sejam por questões geológicas, ambientais ou legais.

**Figura 19: Detalhe da Quadra 1540, onde é possível observar (em amarelo) a localização dos lotes**



**Fonte: Departamento Acadêmico de Construção Civil, 2022.**

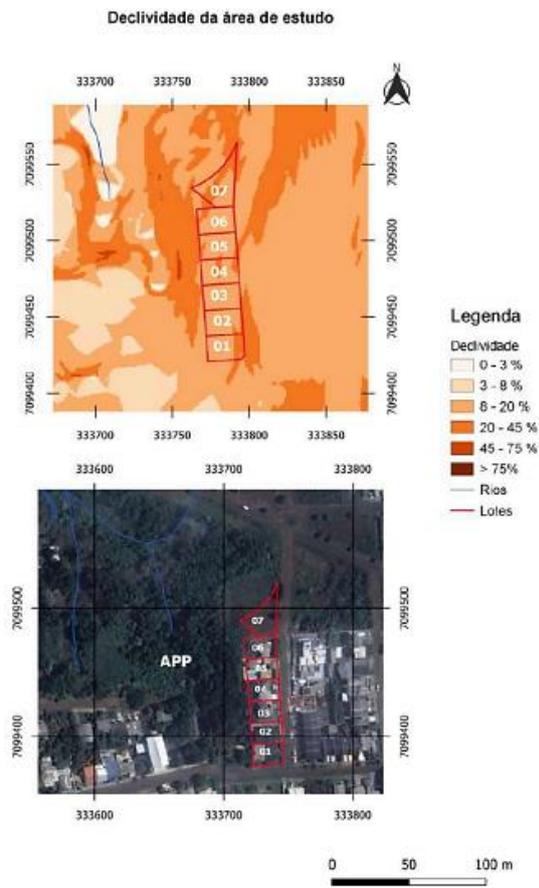
O terreno do estudo está localizado em uma área de Preservação Permanente – APP, que recebe as águas pluviais do entorno e regiões morro acima, em parte por escoamento natural ou de forma canalizada, conforme Figura 19.

#### 4.2.1 Declividade

Para analisar este parâmetro foi gerado um mapa de declividade da área de estudo, onde foi possível perceber que a região tem uma declividade acentuada que possibilita a formação de erosão nos períodos de grande pluviosidade.

Originalmente, antes de sofrerem intervenção, os terrenos se apresentavam como ondulado, a fortemente ondulado, com declividade em torno de 20%, aumentando a declividade até 45% nas áreas de APP. Para fins de ocupação urbana, a vegetação foi retirada, restando preservada apenas nas áreas de APP. Os terrenos, devido a forte declividade, sofreram modificações como a execução de cortes e aterros para possibilitar a construção de habitações, conforme Figura 20.

**Figura 20: Declividade do terreno**



**Fonte: Departamento Acadêmico de Construção Civil, 2022.**

Para a validação da planilha, é importante saber a declividade do terreno, uma vez que se torna um parâmetro importante na tomada de decisão pelo programa, sendo uma das perguntas do checklist.

#### 4.2.2 Dados SPT e questionário

A partir dos relatórios de sondagem SPT realizado pelo autor, foi inserido os dados para o programa, conforme Figura 21.

Figura 21: Dados SPT conforme laudo de sondagem

| DADOS DE SONDAAGEM |           |                  |                |
|--------------------|-----------|------------------|----------------|
| Cota do N.A. (m):  |           | 4,15             |                |
| COTA DO N.A        | Prof. (m) | N <sub>spt</sub> | Tipo de Solo   |
|                    | 0         | 9                | Argila siltosa |
|                    | 1         | 7                | Argila siltosa |
|                    | 2         | 7                | Argila siltosa |
|                    | 3         | 17               | Argila siltosa |
|                    | 4         | 8                | Argila siltosa |
|                    | 5         | 9                | Argila         |
|                    | 6         | 19               | Argila         |
|                    | 7         | 18               | Argila         |
|                    | 8         | 13               | Argila siltosa |
|                    | 9         | 14               | Argila siltosa |
|                    | 10        | 18               | Argila siltosa |
|                    | 11        | 19               | Argila siltosa |
|                    | 12        | 29               | Argila siltosa |
|                    | 13        | 29               | Argila siltosa |
|                    | 14        | 35               | Argila siltosa |
|                    | 15        | 40               | Argila siltosa |
|                    | 16        |                  |                |
|                    | 17        |                  |                |
|                    | 18        |                  |                |
|                    | 19        |                  |                |
|                    | 20        |                  |                |
|                    | 21        |                  |                |
|                    | 22        |                  |                |
|                    | 23        |                  |                |
|                    | 24        |                  |                |
| 25                 |           |                  |                |

Fonte: Autoria própria, 2024

Na mesma aba de inserção dos dados da sondagem, deve ser respondido o checklist de acordo com os demais conhecimentos a respeito do local de construção, conforme Figura 22.

**Figura 22: Checklist de auxílio para determinação no tipo de estaca**

| CHECKLIST  |            |
|--|------------|
| Em sua região há disponibilidade de equipamentos e mão de obra qualificada de fácil acesso?            |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>SIM</b> |
| Ao redor do local de construção, há edificações que impossibilitam a realização de vibrações e ruídos? |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>SIM</b> |
| De acordo com o cronograma executivo, o tempo de execução das fundações é curto?                       |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>SIM</b> |
| O terreno da construção é plano/pouco inclinado?   |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>NÃO</b> |
| No terreno há a presença de rochas ou matacões?  |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>NÃO</b> |
| De acordo com o relatório de sondagem, boa parte é considerada solo mais resistente?                   |            |
| <b>RESPOSTA:</b>   | <b>SIM</b> |

Fonte: Autoria própria, 2024

Por fim, basta clicar no botão de analisar sondagem. Para o estudo em questão, foi recomendado o uso de Estaca Escavada com fluido estabilizante, conforme Figura 23.

**Figura 23: resultado de análise de sondagem e checklist**



NATHANA  
LIMBERGER

**ANÁLISE DA SONDAAGEM**

VOLTAR AO INÍCIO

DIMENSIONAR ESTACA  
HÉLICE

DIMENSIONAR ESTACA  
ESCAVADA

DIMENSIONAR ESTACA  
PRÉ-MOLDADA

DIMENSIONAR ESTACA  
FRANKI

Para o presente estudo, recomenda-se:

**ESCAVADA COM FLUIDO ESTABILIZANTE**

Fonte: Autoria própria, 2024

#### 4.2.3 Dimensionamento de estacas

Para o dimensionamento das estacas, o primeiro passo é realizar a inserção de dados oriundos de projeto estrutural. Devido ao fato do estudo não possuir, foram utilizados valores fictícios.

Conforme sugestão do programa, foi dimensionado para Estaca escavada com fluido estabilizante, conforme Figura 24.

Figura 24: Dados estruturais

| INSIRA OS DADOS ABAIXO: |          |                             |     |
|-------------------------|----------|-----------------------------|-----|
| PILAR:                  | 100      | DIÂMETRO (CM)               | 45  |
| ESTACA:                 | Escavada | CARGA DO PILAR (kN):        | 300 |
| F1:                     | 3,00     | COEF. SEGURANÇA             | 2   |
| F2:                     | 6,00     | RESISTÊNCIA DA ESTACA (kN): | 810 |

Fonte: Autoria própria, 2024

Após os dados inseridos, o programa irá o dimensionamento, bem como indicará a quantidade de estacas e comprimentos, conforme Figuras 25 e 26.

Figura 25: Dimensionamento

| SONDAGEM     |                   |                  |                      | Método Aoki-Velloso |             | Método Décourt-Quaresma |                |
|--------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------------|-------------|-------------------------|----------------|
| COTA DO N.A. | Cota do N.A. (m): |                  | Composição da Camada | R/FS (kN)           | R           | Radm                    | R adotado (kN) |
|              | Prof. (m)         | N <sub>spt</sub> |                      |                     |             |                         |                |
|              |                   | 4,15             |                      |                     |             |                         |                |
|              | 0                 | 9                | Argila siltosa       | 52,48               | 24,99451115 | 12,488                  | 52,48          |
|              | 1                 | 7                | Argila siltosa       | 9,07                | 36,47035642 | 21,5964                 | 9,07           |
|              | 2                 | 7                | Argila siltosa       | 18,14               | 160,9622485 | 115,113                 | 18,14          |
|              | 3                 | 17               | Argila siltosa       | 40,17               | 193,5472402 | 139,898                 | 40,17          |
|              | 4                 | 8                | Argila siltosa       | 50,54               | 232,0136861 | 168,926                 | 50,54          |
|              | 5                 | 9                | Argila               | 66,44               | 331,8982683 | 245,199                 | 66,44          |
|              | 6                 | 19               | Argila               | 100,02              | 378,1621471 | 277,978                 | 100,02         |
|              | 7                 | 18               | Argila               | 131,83              | 427,5903951 | 314,877                 | 131,83         |
|              | 8                 | 13               | Argila siltosa       | 148,68              | 523,8804904 | 390,35                  | 148,68         |
|              | 9                 | 14               | Argila siltosa       | 166,82              | 615,149367  | 460,557                 | 166,82         |
|              | 10                | 18               | Argila siltosa       | 190,14              | 683,5949844 | 511,523                 | 190,14         |
|              | 11                | 19               | Argila siltosa       | 214,77              | 761,4914287 | 567,232                 | 214,77         |
|              | 12                | 29               | Argila siltosa       | 252,35              | 855,8526269 | 636,729                 | 252,35         |
|              | 13                | 29               | Argila siltosa       | 289,93              | 956,8745371 | 709,946                 | 289,93         |
|              | 14                | 35               | Argila siltosa       | 335,29              | 1100,756792 | 817,536                 | 335,29         |
|              | 15                | 40               | Argila siltosa       | 387,12              | 1221,615316 | 918,646                 | 387,12         |

Fonte: Autoria própria, 2024

**Figura 26: Resultado do dimensionamento**

| DIMENSIONAMENTO PARA ELU                                  |   |
|---|---|
| Profundidade limitada por<br>$P_a = P_e$                  | 15 metros   |
| Possível solução:   | <b>3 estaca(s) com 7 metro(s) de profundidade</b> |
| Profundidade determinada é inferior a profundidade limite |   |

Fonte: Autoria própria, 2024

Pode-se concluir então que serão necessárias 3 estacas com 7 metros de comprimento, e 45 cm de diâmetro.

#### 4.2.4 Previsões de recalque

Para as previsões de recalque, foram calculados os recalques imediatos e recalque por adensamento, conforme apresentado na Figura 27.

**Figura 27: Recalques imediatos e por adensamento**

| PREVISÕES DE RECALQUE           |
|---------------------------------|
| <b>Recalque imediato</b>        |
| 0,507595 m                      |
| <b>Recalque por adensamento</b> |
| 0,1676 m                        |

Fonte: Autoria Própria, 2024

Ambos os tipos de recalque podem ser previstos e controlados por meio de estudos geotécnicos e análises de engenharia adequadas, permitindo o dimensionamento correto das fundações e estruturas para suportar os efeitos dos recalques. No entanto, é importante ressaltar a importância de monitorar e mitigar os recalques durante a vida útil de uma estrutura, a fim de garantir sua segurança e estabilidade a longo prazo.

## 5 CONCLUSÕES

A criação de um software de análise de sondagem, cálculo de fundações e previsão de recalques pode ser extremamente útil no campo da engenharia de fundações, especialmente para estudantes e engenheiros iniciantes. Por ser desenvolvido no *Microsoft Excel (Versão 2406 Build 16.0.17726.20078) 64 bits*, o programa se torna de fácil acesso, sem a necessidade de equipamentos caros ou altos investimentos financeiros, fornecendo aos usuários uma análise preliminar que pode orientar um dimensionamento mais aprofundado.

Diante do exposto, é possível concluir que o desenvolvimento do programa para seleção e pré-dimensionamento de fundações com ênfase em estacas do tipo pré-moldadas, Franki, hélice contínua e escavadas com fluido estabilizante se mostra de extrema importância para facilitar e agilizar o processo de projeto de fundações em obras de engenharia civil. A ferramenta desenvolvida permite aos profissionais da área realizar análises mais precisas em menor tempo, garantindo a segurança e eficiência das fundações em diversos tipos de projetos. Portanto, o presente estudo é um importante instrumento para otimizar a execução de fundações com diferentes tipos de estacas, contribuindo para a qualidade e durabilidade das construções.

De maneira geral, o desempenho do software foi positivo, operando de forma adequada, sem interrupções ou falhas, e fornecendo os resultados prometidos. Além disso, sua interface intuitiva torna a utilização pelo usuário final mais simples.

Como sugestão para trabalhos futuros, existe a possibilidade de realizar o dimensionamento estrutural das estacas, além de acrescentar outros tipos de fundações que julgar conveniente. Interessante também é englobar os custos para cada região, assim, não fica limitado somente a uma região específica.

A planilha pode ser ampliada para diversos locais, bem como para outros tipos de fundações, desde que sejam alterados os parâmetros necessários para o tipo de fundação selecionado.

## REFERÊNCIAS

ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. **Manual de execução de fundações e geotecnia: práticas recomendadas**. São Paulo: Pini, 2012.

ABNT NBR 6122. **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. 3. Ed. Rio de Janeiro [s.n.], 2022.

ALBUQUERQUE, P. J. R. D. **Engenharia de Fundações**. Barueri: Grupo GEN, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636977>

ALONSO, U.R. **Exercícios de fundações**. 2. Ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 2010. ISBN 9788521213857. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213857/>.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

AZEREDO, H. A. d. **O Edifício até a sua Cobertura**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1997.

BARROS, M. **Fundações**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075536/mod\\_resource/content/1/TT-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5075536/mod_resource/content/1/TT-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf)

BRITO, J. L. W. d. **Fundações do Edifício**. São Paulo: EPUSP, 1987.

CAPUTO, Homero P.; CAPUTO, Armando N. **Mecânica dos Solos: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2022. *E-book*. ISBN 9788521638032. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521638032/>.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: Projeto geotécnico**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. ISBN 9788579750045.

GARBELLOTO, M. M. **Desenvolvimento de programa computacional para escolha e pré-dimensionamento de fundações do tipo sapata, estaca escavada e tubulão.** Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras** – São Paulo: Pini, 2007.

PINTO, C. d. S. **Curso básico de mecânica dos solos: em 16 aulas.** 3. ed., com exercícios resolvidos. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006. ISBN 9788586238512.

VELLOSO, D. d. A.; LOPES, F. d. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** Vol. Completo. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. ISBN 9788579750137.

DANZIGER, Bernadete R. **Fundações em Estacas.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. *E-book*. ISBN 9788595158122. Disponível em:  
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595158122/>.

## **APÊNDICE A – Planilha Introdução**



**NATHANA  
LIMBERGER**

Criação:  
Nathana Larissa Limberger  
Trabalho de Conclusão de Curso  
Contato: (46) 98834-6429

**PROGRAMA DE SELEÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES**

**INSTRUÇÕES**

ESTACA ESCAVADA COM FLUIDO ESTABILIZANTE

ESTACA PRÉ-MOLDADA

ESTACA HÉCLICE CONTÍNUA

ESTACA FRANKI

**REFERENCIAS**

Fundações por Estacas - Projeto Geotécnico - Cintra e Aoki (2010);

Curso Básico de Mecânica dos Solos - Carlos de Sousa Pinto (2009);

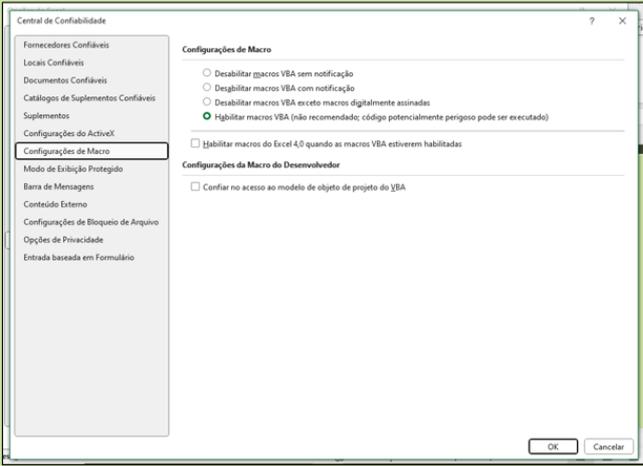
Fundações - Guia prático de projeto, execução e dimensionamento - Rebello (2008);

## **APÊNDICE B – Tutorial**

 **AVISOS GERAIS E FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA** **AVISOS GERAIS**

**TUTORIAL DO PROGRAMA**

1. Para que a planilha funcione corretamente, antes de iniciar a entrada de dados deverá ser habilitada as macros, em: **Arquivo > Mais > Central de Confiabilidade > Configurações de Macro**



2. Clique no botão "Avisos Gerais"

**APÊNDICE C – Avisos Gerais**

**AVISOS GERAIS E FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA**

DIMENSIONAMENTO

FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

1. Para utilização do programa e dimensionamento das fundações é **necessário a Inserção de dados de sondagem SPT e dados dos pilares desejados para dimensionamento;**
2. Os dados devem ser inseridos nas células onde estão escritos "**Inserir texto**", seguindo as orientações do programa;
3. As demais células são bloqueadas, **não sendo possível a alteração dos dados;**
4. Caso haja alguma dificuldade sobre o que representa a célula a ser preenchida, basta posicionar o cursor sobre o título da mesma, que um comentário irá descrever a que ela se refere.
5. Para iniciar, clique no botão "**Dimensionamento**";

**IMPORTANTE:**

O programa realiza apenas o dimensionamento geométrico e geotécnico das fundações;

O programa é apenas para um pré-dimensionamento, deve-se realizar um estudo mais aprofundado para definição e dimensionamento das fundações;



**APÊNDICE D – Planilha SPT**

## DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLO E TIPOS RECOMENDADOS DE FUNDAÇÕES

ANALISAR

## INFORMAÇÕES DA OBRA

CLIENTE Inserir texto

DATA: Inserir texto

OBRA: Inserir texto

ENDERE: Inserir texto

## DADOS DE SONDAAGEM

| Cota do N.A. (m): |     | 4,15           |  |
|-------------------|-----|----------------|--|
| Prof. (m)         | N.º | Tipo de Solo   |  |
| 0                 | 9   | Argila siltosa |  |
| 1                 | 7   | Argila siltosa |  |
| 2                 | 7   | Argila siltosa |  |
| 3                 | 17  | Argila siltosa |  |
| 4                 | 8   | Argila siltosa |  |
| 5                 | 9   | Argila         |  |
| 6                 | 19  | Argila         |  |
| 7                 | 18  | Argila         |  |
| 8                 | 13  | Argila siltosa |  |
| 9                 | 14  | Argila siltosa |  |
| 10                | 18  | Argila siltosa |  |
| 11                | 19  | Argila siltosa |  |
| 12                | 29  | Argila siltosa |  |
| 13                | 29  | Argila siltosa |  |
| 14                | 35  | Argila siltosa |  |
| 15                | 40  | Argila siltosa |  |
| 16                |     |                |  |
| 17                |     |                |  |
| 18                |     |                |  |
| 19                |     |                |  |
| 20                |     |                |  |
| 21                |     |                |  |
| 22                |     |                |  |
| 23                |     |                |  |
| 24                |     |                |  |
| 25                |     |                |  |

## CHECKLIST

Em sua região há disponibilidade de equipamentos e mão de obra qualificada de fácil acesso?

RESPOSTA: SIM

Ao redor do local de construção, há edificações que impossibilitam a realização de vibrações e ruídos?

RESPOSTA: SIM

De acordo com o cronograma executivo, o tempo de execução das fundações é curto?

RESPOSTA: SIM

O terreno da construção é plano/pouco inclinado?

RESPOSTA: NÃO

No terreno há a presença de rochas ou matacões?

RESPOSTA: NÃO

De acordo com o relatório de sondagem, boa parte é considerada solo mais resistente?

RESPOSTA: SIM

## **APÊNDICE E – Dimensionamento de Estacas**

| N                      |          | DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS |     |
|------------------------|----------|----------------------------|-----|
| NSIRA OS DADOS ABAIXO: |          |                            |     |
| PILAR:                 | 100      | DIÂMETRO (CM)              | 45  |
| ESTACA:                | Escavada | CARGA DO PILAR (kN):       | 300 |
| F1:                    | 3,00     | COEF. SEGURANÇA            | 2   |
| F2:                    | 6,00     | RESISTÊNCIA DA ESTACA (t)  | 810 |

| DIMENSIONAMENTO PARA ELU                                  |   |
|---|---|
| Profundidade limitada por $P_a = P_e$                     | 15 metros   |
| Possível solução:   | <b>6estaca(s) com 0 metro (s) de profundidade</b> |
| Profundidade determinada é inferior a profundidade limite |   |

| SONDAGEM           |                        |                      |           |             |        |               |
|--------------------|------------------------|----------------------|-----------|-------------|--------|---------------|
| Cota do N.A. (m):  | 4,15                   |                      |           |             |        |               |
| Método Aoki-Veloso | Método Décourt-Queiroz |                      |           |             |        |               |
| Prof. (m)          | $N_{\text{ppt}}$       | Composição da Camada | R/FS (kN) | R           | Radm   | Radotado (kN) |
| 0                  | 3                      | Argila silteosa      | 52,48     | 24,39451115 | 12,488 | 52,48         |
| 1                  | 7                      | Argila silteosa      | 3,07      | 36,47035642 | 21,596 | 3,07          |
| 2                  | 7                      | Argila silteosa      | 18,14     | 160,3622485 | 115,11 | 18,14         |
| 3                  | 17                     | Argila silteosa      | 40,17     | 193,5472402 | 139,9  | 40,17         |
| 4                  | 8                      | Argila silteosa      | 50,54     | 232,0136861 | 168,93 | 50,54         |
| 5                  | 3                      | Argila               | 56,44     | 331,8382683 | 245,2  | 66,44         |
| 6                  | 19                     | Argila               | 100,02    | 378,1621471 | 277,98 | 100,02        |
| 7                  | 18                     | Argila               | 131,83    | 427,5903351 | 314,88 | 131,83        |
| 8                  | 13                     | Argila silteosa      | 148,68    | 523,8804304 | 390,35 | 148,68        |
| 9                  | 14                     | Argila silteosa      | 166,82    | 615,143367  | 460,56 | 166,82        |
| 10                 | 18                     | Argila silteosa      | 190,14    | 683,5349844 | 511,52 | 190,14        |
| 11                 | 19                     | Argila silteosa      | 214,77    | 761,4914287 | 567,23 | 214,77        |
| 12                 | 29                     | Argila silteosa      | 252,35    | 855,8526269 | 636,73 | 252,35        |
| 13                 | 29                     | Argila silteosa      | 283,33    | 956,8745371 | 709,95 | 283,33        |
| 14                 | 35                     | Argila silteosa      | 335,29    | 1100,756792 | 817,54 | 335,29        |
| 15                 | 40                     | Argila silteosa      | 387,12    | 1221,615316 | 918,65 | 387,12        |

## **APÊNDICE F – Relatório final estacas**

|  <b>RELATÓRIO DE ANÁLISE DE SONDAGEM E PRÉ-DIMENSIONAMENTO</b>   |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|---|------------------|----------------------|---|---------------|----------------------|----|------------------------|----------|-------------------|-----|--|
| INFORMAÇÕES DA OBRA   |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>CLIENTE:</b>   | Inserir texto    |                      | <b>DATA:</b>  | Inserir texto |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>OBRA:</b>  | Inserir texto    |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>ENDEREÇO:</b>  | Inserir texto    |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| DADOS DE SONDAGEM   |                  |                      | CHECKLIST   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| Cota do N.A. (m):   |                  |                      | 4,15  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| COTA DO N.A.  | <b>Prof. (m)</b> | <b>Nspt</b>          | <b>Tipo de Solo</b>   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 0                | 9                    | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 1                | 7                    | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 2                | 7                    | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 3                | 17                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 4                | 8                    | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 5                | 9                    | Argila  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 6                | 19                   | Argila  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 7                | 18                   | Argila  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 8                | 13                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 9                | 14                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 10               | 18                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 11               | 19                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 12               | 29                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 13               | 29                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 14               | 35                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 15               | 40                   | Argila siltosa  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 16               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 17               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 18               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 19               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 20               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 21               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 22               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   | 23               | 0                    | 0   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| 24  | 0                | 0                    |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| 25  | 0                | 0                    |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>ANÁLISE DA SONDAGEM</b><br>Para o presente estudo, recomenda-se:<br><br><b>ESCAVADA COM FLUIDO ESTABILIZANTE</b>   |                  |                      | <b>Em sua região há disponibilidade de equipamentos e mão de obra qualificada de fácil acesso?</b><br><b>RESPOSTA: SIM</b>            |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   |                  |                      | <b>Ao redor do local de construção, há edificações que impossibilitam a realização de vibrações e ruídos?</b><br><b>RESPOSTA: SIM</b> |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   |                  |                      | <b>De acordo com o cronograma executivo, o tempo de execução das fundações é curto?</b><br><b>RESPOSTA: SIM</b>                       |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   |                  |                      | <b>O terreno da construção é plano/pouco inclinado?</b><br><b>RESPOSTA: NÃO</b>   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   |                  |                      | <b>No terreno há a presença de rochas ou matacões?</b><br><b>RESPOSTA: NÃO</b>  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
|   |                  |                      | <b>De acordo com o relatório de sondagem, boa parte é considerada solo mais resistente?</b><br><b>RESPOSTA: SIM</b>                   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>DIMENSIONAMENTO</b>  |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <table border="1"> <tr> <td><b>Pilar:</b></td> <td>100</td> <td><b>Diâmetro (cm)</b></td> <td>45</td> </tr> <tr> <td><b>Tipo de Estaca:</b></td> <td>Escavada</td> <td><b>Carga (kN)</b></td> <td>300</td> </tr> </table> |                  |                      | <b>Pilar:</b>   | 100           | <b>Diâmetro (cm)</b> | 45 | <b>Tipo de Estaca:</b> | Escavada | <b>Carga (kN)</b> | 300 |  |
| <b>Pilar:</b>   | 100              | <b>Diâmetro (cm)</b> | 45  |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>Tipo de Estaca:</b>  | Escavada         | <b>Carga (kN)</b>    | 300   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>SOLUÇÃO ADOTADA</b>  |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| #REF!   |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| PREVISÕES DE RECALQUE   |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>Recalque imediato</b>  |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| 0,507595 m  |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| <b>Recalque por adensamento</b>   |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |
| 0,1676 m  |                  |                      |   |               |                      |    |                        |          |                   |     |  |

**ANEXO G – Perfil de sondagem**

|  |   |   |
|--|---|---|
|  <b>GEO<br/>PERFIL</b><br>ENGENHARIA DE SOLOS | <b>GEO PERFIL Engenharia de Solos</b><br><a href="mailto:geoperfil.eng@gmail.com">geoperfil.eng@gmail.com</a><br>(46) 99912-2002<br>(46) 98820-5380 | Cliente: Município de Pato Branco<br>Obra: Infraestrutura Vila Isabel<br>Endereço: Rua das Oliveiras<br>Cidade: Pato Branco |
|  |   |   |

| Revestimento | Processo de Perf. | Nível d' Água (m) | Nº de Golpes/<br>Penetração (Nº/cm) |         |         | Índice NSPT<br>(30 cm finais) | Amostra  | Relatório de Sondagem Nº   | 20220610-116        |  |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|---------|---------|-------------------------------|--|--|---------------------|--|
|              |                   |                   | 15                                  | 30      | 45      |                               |  | SPTa 03  | Cotas: (Ref.100,00) |  |
|              |                   |                   |                                     |         |         |                               | Gráfico de Resistência<br>dos 30cm finais (NSPT) | Cota Inicial:  | 101,50              |  |
|              |                   |                   |                                     |         |         |                               |  | Cota Final:  | 86,05               |  |
|              |                   |                   |                                     |         |         |                               |  | Classificação dos Solos  |                     |  |
|              |                   | 4,15              | Escavado a trado                    |         |         |                               | 0  | Solo Superficial   |                     |  |
|              |                   |                   | 3 / 15                              | 4 / 30  | 5 / 46  | 9 / 31                        | 1  | Argila siltosa marrom avermelhada<br>de consistência MÉDIA             |                     |  |
|              |                   |                   | 5 / 15                              | 4 / 30  | 3 / 45  | 7 / 30                        | 2  | Argila pouco siltosa marrom avermelhada<br>de consistência MÉDIA       |                     |  |
|              |                   |                   | 3 / 15                              | 4 / 30  | 3 / 45  | 7 / 30                        | 3  | Argila pouco siltosa marrom avermelhada<br>de consistência MÉDIA       |                     |  |
|              |                   |                   | 7 / 15                              | 8 / 30  | 9 / 45  | 17 / 30                       | 4  | Argila pouco siltosa marrom avermelhada<br>de consistência RIJA        |                     |  |
|              |                   |                   | 4 / 15                              | 4 / 30  | 4 / 45  | 8 / 30                        | 5  | Argila pouco siltosa marrom avermelhada<br>de consistência MÉDIA       |                     |  |
|              |                   |                   | 3 / 15                              | 4 / 30  | 5 / 45  | 9 / 30                        | 6  | Argila marrom avermelhada<br>de consistência MÉDIA                     |                     |  |
|              |                   |                   | 6 / 15                              | 8 / 30  | 11 / 45 | 19 / 30                       | 7  | Argila marrom avermelhada<br>de consistência RIJA                      |                     |  |
|              |                   |                   | 5 / 15                              | 7 / 30  | 11 / 45 | 18 / 30                       | 8  | Argila marrom avermelhada<br>de consistência RIJA                      |                     |  |
|              |                   |                   | 6 / 15                              | 6 / 30  | 7 / 45  | 13 / 30                       | 9  | Argila siltosa roxa com mesclas verde<br>de consistência RIJA          |                     |  |
|              |                   |                   | 5 / 15                              | 5 / 30  | 9 / 45  | 14 / 30                       | 10   | Argila pouco siltosa roxa com mesclas laranja<br>de consistência RIJA  |                     |  |
|              |                   |                   | 5 / 15                              | 8 / 30  | 10 / 45 | 18 / 30                       | 11   | Argila pouco siltosa roxa com mesclas laranja<br>de consistência RIJA  |                     |  |
|              |                   |                   | 5 / 15                              | 8 / 30  | 11 / 45 | 19 / 30                       | 12   | Argila pouco siltosa roxa com mesclas marrom<br>de consistência RIJA   |                     |  |
|              |                   |                   | 8 / 15                              | 13 / 30 | 16 / 45 | 29 / 30                       | 13   | Argila pouco siltosa roxa com pig branco<br>de consistência MUITO RIJA |                     |  |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
| Trado Helicoidal (T.H.)<br>Circulação d' Água (C.A.)<br>Nível d' Água (N.A.) | Amostrador<br>Interno 1 3/8"<br>Externo 2" | Revestimento<br>Peso: 65,00 kg<br>Altura de queda: 75,0 cm | Data da Execução<br>Início: 25/10/2022<br>Término: 26/10/2022 |
|--|--|--|---|

|  |  |
|--|--|
| GEOPERFIL Engenharia de Solos – 38.065.263/0001-51<br>Rua Fernando Ferrari, 1145, Centro – CEP: 85580-000<br>geoperfil.eng@gmail.com | Responsável Técnico:<br><br>Marina Myszak Biedacha<br>Eng. Civil - CREA-PR 196137/D |
|--|--|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br><b>GEO<br/>PERFIL</b><br>ENGENHARIA DE SOLOS | <b>GEO PERFIL Engenharia de Solos</b><br><a href="mailto:geoperfil.eng@gmail.com">geoperfil.eng@gmail.com</a><br>(46) 99912-2002<br>(46) 98820-5380 | Cliente: Município de Pato Branco<br>Obra: Infraestrutura Vila Isabel<br>Endereço: Rua das Oliveiras<br>Cidade: Pato Branco |
|---|---|---|

| Revestimento | Processo de Perf. | Nível d' Água (m) | Nº de Golpes/<br>Penetração (Nº/cm) |         |         | Índice NSPT<br>(30 cm finais) | Amostra   | Relatório de Sondagem Nº                         | 20220610-116   |        |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|---------|---------|-------------------------------|---|--|--|--------|
|              |                   |                   | 15                                  | 30      | 45      |                               |   | SPTa 03 Continuação                              | Cotas: (Ref. 100,00)   |        |
|              |                   |                   |                                     |         |         |                               |   | Gráfico de Resistência<br>dos 30cm finais (NSPT) | Cota Inicial:  | 101,50 |
|              |                   |                   | continuação                         |         |         |                               |   | Cota Final:                                      | 86,05  |        |
|              |                   |                   |                                     |         |         |                               |   | Classificação dos Solos                          |  |        |
|              | T.H.              |                   |                                     |         |         |                               | 0 10 20 30 40 50  |  |  |        |
|              |                   |                   | 8 / 15                              | 13 / 30 | 16 / 45 | 29 / 30                       |  |  | Argila pouco siltosa roxa com pig branco de consistência MUITO RUA |        |
|              |                   |                   | 9 / 15                              | 13 / 30 | 22 / 45 | 35 / 30                       |   |  | Argila pouco siltosa roxa e mesclas cinza de consistência DURA     |        |
|              |                   |                   | 11 / 15                             | 16 / 30 | 24 / 45 | 40 / 30                       |   |  | Argila pouco siltosa roxa e pigmentos brancos de consistência DURA |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   | 15,45  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   | Impenetrável a percussão                         |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |
|              |                   |                   | /                                   | /       | /       | /                             |   |  |  |        |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Trado Helicoidal (T.H.)<br>Circulação d' Água (C.A.)<br>Nível d' Água (N.A) | Amostrador<br>Interno 1 3/8"<br>Externo 2" | Revestimento<br>Peso: 65,00 kg<br>Altura de queda: 75,0 cm | Data da Execução<br>Início: 26/10/2022<br>Término: 26/10/2022 |
|---|--|--|---|

|  |  |
|--|--|
| GEOPERFIL Engenharia de Solos – 38.065.263/0001-51<br>Rua Fernando Ferrari, 1145, Centro – CEP: 85580-000<br>geoperfil.eng@gmail.com | Responsável Técnico:<br><br>Marina Myszak Biedacha<br>Eng. Civil - CREA-PR 196137/D |
|--|--|