

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – CAMPUS SERTÃO

EIXO TECNOLÓGICO

ENGENHARIA CIVIL

RENAN FILIPE PIRES NOVAES

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE FUNDAÇÕES POR ESTACAS DO TIPO  
HÉLICE CONTINUA, FRANKI E PRÉ-MOLDADA**

DELMIRO GOUVEIA

2020

RENAN FILIPE PIRES NOVAES

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE FUNDAÇÕES POR ESTACAS DO TIPO  
HÉLICE CONTINUA, FRANKI E PRÉ-MOLDADA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: MSc. Alverlando Silva Ricardo

DELMIRO GOUVEIA

2020

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

N935a Novaes, Renan Filipe Pires

Análise da confiabilidade de fundações por estacas do tipo hélice contínua, franki e pré-moldada / Renan Filipe Pires Novaes. – 2020.  
153 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Alverlando Silva Ricardo.  
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.  
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2020.

1. Fundações. 2. Estacas. 3. Probabilidade de falha. 4. Segurança estrutural. I. Título.

CDU: 624.154

Folha de aprovação

RENAN FILIPE PIRES NOVAES

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE FUNDAÇÕES POR ESTACAS DO TIPO  
HÉLICE CONTINUA, FRANKI E PRÉ-MOLDADA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
ao curso de Engenharia Civil, pela  
Universidade Federal de Alagoas – Campus  
Sertão, como pré-requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: MSc. Alverlando Silva Ricardo

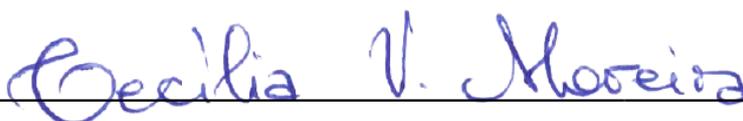
**Banca Examinadora:**



Prof. MSc. Alverlando Silva Ricardo – UFAL – Campus do Sertão (Orientador)



Prof. MSc. Vinicius Costa Correia – UFAL – Campus do Sertão (Examinador Interno)



Eng.<sup>a</sup> Cecília Vieira Moreira (Examinadora Externa)

## AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer outro alguém, meus sinceros agradecimentos ao SENHOR, por já me acompanhar muito antes de meu primeiro dia, pela paciência, bondade, graça, misericórdia, por me responder nos tempos sombrios, por me dizer que nada ainda tá perdido, por ter me guiado no silêncio – meu melhor amigo.

Aos meus pais, Dio e Rita, pelo apoio que só os pais dão (mesmo quando a coisa pega), e por me financiarem ao longo da graduação – nada me deixaram faltar. Ao tio João, tudo seria diferente se o senhor não me matriculasse. À tia Cida e Léia, suas orações me são por apoio. Ao Zezinho, por me comprar frutas e por toda a assistência nesses 5 anos.

Ao Luís Costa (Amigo ou apenas Little Mole), melhor pessoa – obrigado por me ajudar com o CorelDraw até às 3 da manhã com um trabalho a ser entregue às 8:00 AM. Ao Fabrício Miranda (Pascalzinho), pelo companheirismo, respeito, tolerância e parceria na manutenção da paz na St. Brisa. À Equipe 10 (Ítalo, Luana Kívia “Miga” e Danilo “Sacaninha”), melhor equipe em eficiência – Miga, já aceitei que somos a dupla mais desunida da UFAL, obrigado por ter me inspirado a ser mais caprichoso e atencioso. À Clarinha (garota mais fofa que já conheci, depois da \*Karlinha), pela paciência ao me ouvir falar mal da Luana Kívia. À Lanny, eu ainda estaria na metade do curso se não fosse sua ajuda nos estudos pelas madrugadas. Ao Bruno Santos, por me ensinar a ser pleno e me fazer rir em meio ao desespero das reavaliações. Ao Vítor Emmanuel, sua disciplina me inspira, além de ter sido um baita companheiro de estudo nas madrugadas. Ao Rodrigo – 2ª melhor pessoa, meu parceiro de conversação em inglês! –, nossas conversas sobre livros e cultura jamais serão esquecidas. À Ana Karolayne (Peppa), pelo companheirismo até nas aulas de habilitação – amiga mais matura. Aos Coleguinhas (Alencar, Cavalcante, Igor e Wallef), nunca esquecerei a boa hora de nossos cafezinhos e os chás.

À Stéfany Cavalcante (obrigado pelo Somos Luz, os frutos de nossas reuniões me são incontáveis) e ao Hélder Lima (obrigado por me apresentar Projeto Sola), é mais fácil ser cristão quando temos cristãos por perto. Agradeço pelas

conversas de conteúdo, pela inspiração, pela paciência, pelo conhecimento adquirido. À Wilma (mulher de oração), obrigado por me apresentar O Desígnio.

À Tiago Alves (meu orientador de estágio), pela paciência, pelo aprendizado, pelo pensamento abundante.

Aos meus professores: Alverlando Ricardo (o primeiro a me adotar em pesquisa), Salvatore Verde (pelos passeios de bicicleta, pela adrenalina ao estudar pra suas provas, pelas conversas), ao Vinicius (meu pai em estruturas, sua pontualidade e praticidade me inspiram).

Enfim, intentei mencionar aqueles dos quais minha falha memória me lembrou de ter investido mais de meu tempo, ou que me foram de notável inspiração durante minha fase de graduação – nada foi por acaso, em tudo foram os arranjos do SENHOR.

## RESUMO

No Brasil é comum que os projetos de fundações sejam elaborados utilizando uma metodologia prescritiva, de modo a não considerar diretamente as incertezas inerentes ao problema. O desprezo à variabilidade das variáveis envolvidas no dimensionamento pode acarretar em sérias consequências, não apenas de ordem econômica da obra, mas principalmente ao estado limite de serviço e estado limite útil, quando não, às vidas, nas imediações da edificação. Uma solução para este problema pode ser a utilização de ferramentas da confiabilidade, responsáveis por quantificar a segurança estrutural por meio da probabilidade de falha durante as etapas da elaboração do projeto de fundação. Portanto, neste trabalho é feita a previsão da probabilidade de falha da fundação de um edifício de 14 pavimentos, utilizando a metodologia desenvolvida por Aoki e Veloso (1975) com mesmo nome e considerando três tipos de estacas: Franki, hélice contínua e pré-moldada. Posteriormente os resultados são validados pelos métodos de confiabilidade FORM (*First Order Reliability Method*) e Monte Carlo. Também é feita a previsão da probabilidade de falha da fundação ao variar os diâmetros das estacas. Foi observado que para os diâmetros de 30 e 40 cm o tipo de estaca que apresentou melhor confiabilidade foi a hélice contínua, seguida pela pré-moldada e Franki. No entanto, ao considerar estacas de 50 cm de diâmetro, a melhor confiabilidade foi a hélice contínua, seguida pela Franki e pré-moldada. Por fim, este trabalho exemplifica a importância e praticidade da consideração das incertezas envolvidas nos projetos dos elementos de fundações.

**Palavra-chave:** confiabilidade, probabilidade de falha, fundações, estacas.

## ABSTRACT

In Brazil, it is common for foundation projects to be elaborated using a prescriptive methodology, so as not to directly consider the uncertainties inherent to the problem. The disregard for the variability of the variables involved in the dimensioning can have serious consequences, not only in terms of the economic nature of the work, but mainly in the service limit state and useful limit state, when not, in the lives, in the vicinity of the building. A solution to this problem may be the use of reliability tools, responsible for quantifying structural safety through the probability of failure during the stages of the elaboration of the foundation project. Therefore, in this work the prediction of the probability of failure of the foundation of a building of 14 floors is made, using the methodology developed by Aoki and Velloso (1975) with the same name and considering three types of stakes: Franki, continuous helix and precast. The results are subsequently validated by the FORM (First Order Reliability Method) and Monte Carlo reliability methods. Prediction of the probability of failure of the foundation is also made by varying the diameters of the stakes. It was observed that for the diameters of 30 and 40 cm the type of stake that presented the best reliability was the continuous helix, followed by the precast and Franki. However, when considering piles with a diameter of 50 cm, the best reliability was the continuous helix, followed by Franki and precast. Finally, this work exemplifies the importance and practicality of considering the uncertainties involved in the projects of the elements of foundations.

**Keyword:** reliability, probability of failure, foundations, stakes.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$R$ , capacidade de carga

$R_L$ , resistência lateral

$R_P$ , resistência de ponta

$U$ , perímetro da estaca

$r_L$ , incógnita geotécnica lateral

$\Delta L$ , comprimento da camada

$r_p$ , incógnita geotécnica da ponta

$A_p$ , área da ponta da estaca

$q_c$ , resistência de ponta do cone

$f_s$ , atrito lateral

$K$ , coeficiente de tipo de solo

$N_{SPT}$ , índice de resistência à penetração

$F_1$ , fator de correção da parcela de ponta

$F_2$ , fator de correção da parcela lateral

*FORM, First Order Reliability Method*

$I[X]$ , é a função indicadora

$n_f$ , é o número de pontos no domínio de falha

$n_{si}$ , é o número de simulações realizadas

$N_P$ , índice de resistência à penetração na ponta

$N_L$ , índice de resistência à penetração médio ao longo da camada

$C$ , coeficiente característico do solo

$L$ , comprimento do fuste

$P_a$ , carga admissível

$R_{méd}$ , resistência média

$R_k$ , resistência característica

$S$ , carga solicitante

$S_{méd}$ , solitação média

$S_k$ , valor característico da solitação

$F_s$ , fator de segurança

$\gamma_f$ , fator de majoração

$\gamma_m$ , fator de minoração

$\sigma_R$ , desvio padrão da resistência

$\sigma_S$ , desvio padrão da solitação

$v_R$ , coeficiente de variação da resistência

$v_S$ , coeficiente de variação da solitação

$p_f$ , probabilidade de ruína

$f_z(Z)$ , função margem de segurança

$Z$ , margem de segurança

$Z_{méd}$ , valor médio da função margem de segurança

$f_R(R)$ , função resistência

$f_S(S)$ , função solitação

$\sigma_Z$ , desvio padrão da margem de segurança

$\beta$ , índice de confiabilidade

$V_Z$ , coeficiente de variação da margem de segurança

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Síntese das probabilidades de falhas .....	57
Gráfico 2 – Índice de sensibilidade para o caso das estacas de 30 cm de diâmetro .....	58
Gráfico 3 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas, hélice contínua $\varnothing 30$ .....	60
Gráfico 4 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki $\varnothing 30$ .....	62
Gráfico 5 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas pré-moldadas $\varnothing 30$ .....	64
Gráfico 6 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas hélice contínua $\varnothing 40$ .....	65
Gráfico 7 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas hélice contínua $\varnothing 50$ .....	65
Gráfico 8 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas pré-moldada $\varnothing 40$ .....	66
Gráfico 9 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Pré-moldada $\varnothing 50$ .....	67
Gráfico 10 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki $\varnothing 40$ .....	68
Gráfico 11 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki $\varnothing 50$ .....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Execução de estaca hélice contínua .....	26
Figura 2 – Folha de controle de execução de estaca hélice contínua ("monitorada") .....	27
Figura 3 – Execução da estaca Franki Standard.....	31
Figura 4 – Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga.....	33
Figura 5 – Curvas de densidade de probabilidade de resistência e solicitação	41
Figura 6 – Curva de probabilidade de ruína .....	42
Figura 7 – Função margem de segurança .....	44
Figura 8 – Planta de locação dos pilares .....	49
Figura 9 – Pontos de ensaio SPT.....	51
Figura 10 – Planta de estaqueamento .....	52
Figura 11 – Blocos de influência dos resultados de SPT. ....	53
Figura 12 – Análise de confiabilidade via FORM (hélice contínua) .....	59
Figura 13 – Análise de confiabilidade via simulação de Monte Carlo (hélice contínua) .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos coeficiente K e $\alpha$ .....	36
Tabela 2 – Fatores de correção F <sub>1</sub> e F <sub>2</sub> atualizados. ....	36
Tabela 3 – Tabela de cargas dos pilares (projeto estrutural) .....	50
Tabela 4 – Dados iniciais para o cálculo da capacidade de carga .....	54
Tabela 5 – Cálculos da capacidade de carga e carga admissível para estaca de 30 cm de diâmetro, região de influência SPT1 .....	55
Tabela 6 – Síntese da análise de confiabilidade, hélice contínua Ø30.....	59
Tabela 7 – Síntese da análise de confiabilidade, Franki Ø30 .....	61
Tabela 8 – Síntese da análise de confiabilidade, Pré-moldada Ø30 .....	63
Tabela 9 – Resumo das relações entre a área da seção e Pf, estaca tipo hélice-continua.....	69
Tabela 10 – Resumo das relações entre a área da seção e Pf, estaca tipo pré-moldada .....	70
Tabela 11 – Resumo das relações entre a área da seção e Pf, estaca tipo Franki .....	70

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivo Geral .....	16
1.3 Objetivos Específicos .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 FUNDAÇÕES.....	18
2.1.1 Investigação Geotécnica .....	19
2.1.2 Tipos de Fundações .....	22
2.1.3 Capacidade de Carga.....	32
2.1.4 Carga Admissível.....	37
2.1.5 Confiabilidade em Fundações .....	40
2.2 PROBABILIDADE DE RUÍNA .....	40
2.2.1 Insuficiência do Fator de Segurança Global .....	40
2.2.2 Variáveis Envolvidas.....	43
2.2.3 Margem de Segurança .....	43
2.2.4 Índice de confiabilidade .....	44
2.2.5 Método de Confiabilidade de Primeira Ordem – FORM .....	46
2.2.6 Simulação de Monte Carlo .....	47
3. METODOLOGIA .....	49
3.1 Dados do estudo de caso.....	49
3.2 Estaqueamento e perfis de solo.....	51
3.3 Previsão da Capacidade de Carga das Estacas .....	53
3.4 Aplicação da confiabilidade.....	56
4. RESULTADO .....	57
4.1 Análise de Confiabilidade e Probabilidade de Ruína .....	57

4.2	Confiabilidade ao Variar Diâmetros das Estacas Utilizadas.....	64
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros .....	72
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICES.....	75
	ANEXOS .....	145
	ANEXO B.....	150

## 1. INTRODUÇÃO

A confiabilidade das fundações deve ser verificada contra possíveis falhas causadas por carregamentos extremos ou por uma baixa resistência do solo ou do elemento estrutural. Porém, de modo geral, os projetos de fundação no Brasil tomam por consideração métodos semi-empíricos determinísticos, utilizando coeficientes de majoração e minoração, bem como fatores de segurança pré-determinados por normas. Tais métodos falham ao não atentarem quanto à variabilidade das variáveis envolvidas nos cálculos de carga admissível das estacas e das cargas solicitantes. Além disso, dúvidas quanto ao tipo de fundação a ser utilizada aumentam as incertezas e podem proporcionar projetos com alto custo ou sem garantia de segurança para a fundação. Como alternativa a essa problemática, pode-se aplicar a teoria da confiabilidade, que permite quantificar a segurança estrutural por meio de probabilidades de falha.

As ferramentas da confiabilidade ainda não foram amplamente aplicadas aos elementos de fundações, no entanto, no Brasil, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na última década sobre o estudo da confiabilidade estrutural de fundações. Tal assunto já tem sido abordado por Cintra e Aoki (2010) com análises probabilísticas de fundações profundas, onde os autores afirmam que fórmulas teóricas nem sempre fornecem valores confiáveis. A variabilidade das propriedades das variáveis, evidenciam, assim, a importância da análise probabilística. Em Aoki et al. (2018) é calculada a probabilidade de ruína de fundações em estacas para um edifício de 6 pavimentos, onde é constatado que ao considerar valores médios para a estimativa das resistências obtém-se maior probabilidade de falha que quando considerando as propriedades de resistência do terreno.

Basto (2019) fez a análise da confiabilidade de projeto de fundação por estaca cravada, a partir da metodologia semiempírica aplicada em caso real de obra; o mesmo concluiu que as metodologias semi-empíricas de capacidade de carga são bastante sensíveis às variabilidades das camadas do subsolo, e demonstram ser insuficientes para garantir a segurança da obra, mesmo com a utilização de coeficientes de segurança.

No entanto, ainda faltam pesquisas que comparem as probabilidades de falha entre diferentes tipos de fundações. Dessa maneira, a abordagem desenvolvida por Aoki e Velloso (1975) é aplicada em três tipos de estacas: Franki, hélice contínua e pré-moldada e suas probabilidades de falha são apresentadas e analisadas em função dos seus diâmetros, capítulo 4. O restante deste trabalho está organizado conforme segue.

O capítulo 2 é responsável por apresentar de maneira breve a fundamentação básica aqui utilizada: as fundações profundas, confiabilidade em fundações e a probabilidade de ruína. O capítulo 3 apresenta a metodologia necessária para a execução da presente pesquisa. Por fim, as considerações finais a respeito do trabalho, e as sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 5.

## 1.1 Justificativa

A justificativa do desenvolvimento do presente trabalho é o fornecimento de previsões de probabilidade de falha em projetos de fundação, considerando para isso a variabilidade das variáveis tais quais as cargas, perfis de solo, cargas admissíveis da estrutura, tipos de fundações, etc.

## 1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a análise, comparação e determinação da confiabilidade de três tipos de elementos de fundação aplicadas a um estudo de caso real. Para tal serão utilizadas as estacas tipo Franki, hélice contínua e pré-moldada (de concreto). Por fim, determinar qual estaca, sob as condições de projeto, apresenta menor probabilidade de falha.

## 1.3 Objetivos Específicos

- Estimar a capacidade de carga de três tipos de estacas (Franki, hélice contínua e pré-moldada) utilizando o método Aoki-Velloso;

- Analisar qual dentre as estacas possui maior confiabilidade sob as cargas de projeto de um edifício;
- Comparar as probabilidade de falha da fundação sob a variação do diâmetro das estacas;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FUNDAÇÕES

De modo geral, fundações na construção civil são estruturas construídas a fim de transmitirem as cargas de uma edificação para as camadas resistentes de solo. Segundo Velloso e Lopes (2010), o projeto e execução de fundações, isto é, a engenharia de fundações, exige conhecimentos de Geotecnia e Cálculo Estrutural. A Geotecnia é responsável por estudar a Geologia de Engenharia, Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas, enquanto o cálculo estrutural aborda análises das estruturas e dimensionamento de estruturas em concreto armado e protendido, aço e madeira.

As fundações podem ser divididas em dois grandes grupos: fundações rasas e fundações profundas.

As fundações rasas, ou superficiais, conforme a NBR 6122 (2019), são elementos apoiados sobre o solo. Esse tipo de fundação deve possuir profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente menor que duas vezes a menor dimensão da fundação. Como exemplo de fundações superficiais pode-se citar as sapatas, as sapatas associadas, as sapatas corridas, os blocos e os *radiers*.

Quanto às fundações profundas, estas são elementos cuja maior parcela de resistência, aproximadamente 80%, deriva do atrito da superfície lateral com o solo. A carga também é transmitida pela base (resistência de ponta), embora essa tenha menor percentual de absorção da carga solicitante. As fundações profundas devem estar assentes em profundidades superiores ao dobro de sua menor dimensão em planta, e, no mínimo 3 m (admite-se exceções, considerando justificativa), (VELLOSO; LOPES, 2010). Como exemplo de fundações profundas, pode-se citar estacas e tubulões.

Em razão do presente trabalho considerar a aplicação de fundações profundas, assim, nos próximos tópicos é feita uma breve apresentação de fundações pertinentes a este grupo.

### 2.1.1 Investigação Geotécnica

As informações dos perfis de solo sobre os quais será construída a edificação são de importância vital para a confecção do projeto. Tais informações podem ser basicamente sintetizadas nas propriedades mecânicas, sendo estas obtidas a partir de ensaios laboratoriais ou de campo. Em razão da variedade de solos submetidos à diferentes circunstâncias na natureza, e também por motivos de praticidade, é comum a utilização de ensaios de campo, ou “*in situ*”. Ensaios laboratoriais são, por sua vez, utilizados quando há necessidade de informações adicionais ou mais precisas.

Segundo Bastos (2019), os tipos de ensaios de campo mais comuns são:

- *Standard Penetration Test (SPT)* – Teste de penetração padrão;
- Ensaio de penetração de cone (CPT);
- Ensaio de penetração de cone, com medida de pressões neutras (piezocone) – CPTU;
- Ensaio dilatométrico – DMT;
- Ensaio pressiométrico – PMT;
- Ensaio de palheta ou Vane Test – VST.

Além da importância do reconhecimento das propriedades do solo através dos ensaios, também importa à investigação geotécnica o reconhecimento de dados pertinentes à outras etapas do projeto como: volumes de solos à serem deslocados (aterro e corte), a alocação ótima para o posicionamento da estrutura, a necessidade de estabilização dos maciços, dentre outros. Estes dados auxiliam no processo de decisão quanto às tecnologias mais viáveis e passíveis de serem aplicadas ao solo.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2010), o valor da sondagem em média custa 0,5% do valor total da obra. Na ausência de informações geotécnicas ou má interpretação de seus dados é possível que haja atrasos na construção da edificação, considerando-se possíveis tentativas de reparo e conseqüentemente aumento de custos. Problemas ambientais e desabamento do edifício também

são comuns, mesmo resultando em perdas de vida, quando a identificação da falha na interpretação é tardia.

Considerando os ensaios de campo mais usuais, conforme supracitado, o mais utilizado tanto no Brasil quando internacionalmente é o *Standard Penetration Test* (SPT), pois é bastante econômico e utiliza-se de técnica relativamente simples (BASTOS, 2019). Este ensaio é basicamente uma sondagem simples de reconhecimento à percussão o qual mede a resistência do solo referente à cada camada perfurada, também possibilitando informações quanto à cota do lençol freático. Nacionalmente, a metodologia do ensaio SPT é abordada pela NBR 6484 (2001), elaborada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Em precedência ao procedimento do ensaio SPT realiza-se a locação dos furos de sondagem no terreno, sendo estes sinalizados com a cravação de um piquete e um número que o identifique. Na sequência, o ensaio é realizado a partir da cravação da estaca no solo por meio de golpes, esses costumam ser realizados com o levantamento de um peso padrão de 65 kg à altura de 75 cm da cabeça de bater, deixando-o cair livremente sobre a cabeça da estaca.

A camada de solo do primeiro metro de profundidade recolhida pela cápsula no amostrador-padrão (localizada à borda inferior da estaca) é descartada e continua-se a inserir a estaca no solo por meio de golpes. É anotado o número de golpes necessários para a cravação dos 45 cm do amostrador, onde para cada 15 cm cravado tem-se um conjunto de golpes. O resultado do ensaio SPT é o número de golpes necessários para a cravação dos 30 cm finais, isto é, despreza-se os primeiros 15 cm, no entanto o número de golpes para a penetração destes também é registrada. A estaca é então cravada por mais 55 cm, concluindo a unidade de 1 (um) metro e então o procedimento é repetido, (VELLOSO e LOPES, 2010). O ciclo é realizado até obter-se a nega de cravação, isto é, as medidas de cravação da estaca obedecerem a proporção de 1-3mm/golpe ou 10-30mm/10 golpes.

A resistência à penetração (N) de cada metro de solo ensaiado é obtida à partir da soma do número de golpes necessários para a cravação dos últimos 30 cm.

A NBR 6484 (2001) indica que o relatório final de ensaio em campo contenha as informações a seguir:

- Nome da empresa e do interessado;
- Número do trabalho;
- Local do terreno;
- Número da sondagem;
- Data e hora de início e término da sondagem;
- Métodos de perfuração empregados e as respectivas profundidades;
- Avanços do tubo de revestimento;
- Profundidades das mudanças das camadas de solo e do final da sondagem;
- Numeração e profundidades das amostras coletadas no amostrador-padrão e/ou trado;
- Anotações das amostras colhidas por circulação de água, quando da não recuperação pelo amostrador-padrão;
- Descrição tátil-visual das amostras, na sequência: granulometria principal e secundária, origem e cor;
- Número de golpes necessários à cravação de cada trecho nominal de 15 cm do amostrador em função da penetração correspondente;
- Resultados dos ensaios de avanço de perfuração por circulação de água;
- Anotação sobre a posição do nível d'água, com data, hora, profundidade aberta do furo e respectiva posição do revestimento, quando houver;
- Nome do operador e vistos do fiscal;
- Demais informações de interesse colhidas durante a execução da sondagem;
- Procedimentos especiais utilizados, conforme a NBR 6484 (2001).

### 2.1.2 Tipos de Fundações

Conforme mencionado no item anterior (2.1 Fundações), as fundações são divididas em dois grandes grupos: superficial e profunda.

Para fundações do tipo superficial, segundo a NBR 6122 (2019), pode-se citar as mais usuais:

- Bloco: dimensionado de forma que os esforços de tração são resistidos pelo próprio concreto, dispensando-se o uso de armadura. Comumente utiliza-se materiais tais quais concreto, alvenaria ou pedras;
- Sapata: construída com concreto armado e dimensionada de modo que as tensões de tração sejam resistidas pela armadura de aço. Sua base em planta é normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal.
- Radier: espécie de laje diretamente apoiada sobre o solo, de forma a abranger todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos.

Para fundações do tipo profunda, segundo a NBR 6122 (2019), pode-se citar as mais usuais:

- Tubulões: elementos cilíndricos de concreto, com ou sem revestimento (podendo ser este de aço ou concreto). O revestimento poderá ser perdido ou recuperado. Na etapa final de sua construção há a necessidade de descida de operário para alargamento da base ou limpeza do fundo da escavação;
- Estaca: executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, não havendo em momento algum trabalho manual em profundidade. Os materiais comumente utilizados são aço, madeira, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco*, argamassa, calda de cimento ou combinações desses materiais. Alguns dos tipos de estacas são apresentados a seguir:

- a) Estaca cravada por percussão: a própria estaca ou um molde é introduzido no terreno por golpes de martelo. Há situações em que a cravação é precedida de escavação ou lançamento;
- b) Estaca cravada por prensagem: quando a própria estaca, ou molde, é introduzida no terreno via uso de macaco hidráulico;
- c) Estaca escavada, com injeção: executada com a injeção de produto aglutinante sob pressão (usualmente calda de cimento ou argamassa de cimento e areia). A injeção pode ocorrer durante ou após a instalação da estaca, e ocorre em razão da garantia da integridade do fuste ou aumento da resistência de atrito lateral;
- d) Broca: é executada via perfuração (de comprimento mínimo de 3,0 m) com trado manual, na sequência sendo preenchido por concreto. Comumente utilizada em pequenas construções, com cargas limitadas a 100 kN;
- e) Estaca apiloada: executada por perfuração ou uso de soquete;
- f) Estaca escavada: executada por escavação mecânica, ou com o uso de lama bentonítica, de revestimento total ou parcial. Posteriormente dando-se a etapa de concretagem;
- g) Estaca Franki: fundação de base alargada, executada com a introdução de uma dada quantidade de material granular, ou concreto, sobre o terreno e na sequência uma série de golpes de pilão. O fuste pode ser moldado no terreno, ou ser construído por um elemento pré-moldado;
- h) Estaca mista: constituída de dois, apenas dois, elementos de materiais diferentes (usualmente madeira, aço, concreto pré-moldado e concreto moldado *in loco*);
- i) Estaca hélice contínua: construída com material de concreto, moldada *in loco* e executada com a utilização de trado helicoidal contínuo e injeção de concreto pela própria haste do trado.

As fundações profundas por estacas são amplamente utilizadas na construção civil, principalmente em solos de baixa resistência submetidos à altas tensões (VELLOSO; LOPES, 2010). Isto se dá pela praticidade na construção deste

tipo de fundação, fatores de custos e elevada capacidade em resistir carregamentos elevados. Além de empregadas em fundações prediais, as estacas também podem ser solução pra contenção e reforços de talude.

Dentre os tipos de estacas, as mais comuns são: estacas do tipo escavada, Franki, hélice contínua, de madeira, metálicas, raíz, Strauss, pré-moldada (de concreto), etc.. Para o presente trabalho serão utilizadas as estacas Franki, pré-moldada (de concreto) e hélice contínua, visto serem estas as de uso mais comum na construção civil brasileira, e também em razão dos diferentes valores de fatores de correção ( $F_1$  e  $F_2$ ) para cada tipo. Nos tópicos a seguir, tem-se uma apresentação das mesmas.

#### 2.1.2.1 *Estaca escavada do tipo hélice contínua*

Segundo a NBR 6122 (2019), a estaca tipo hélice contínua consiste na introdução do trado por rotação até a profundidade estabelecida em projeto. O trado é contínuo e de comprimento maior que a profundidade da camada de solo a ser escavado, seu diâmetro pode variar entre 30 e 100 cm. O trado é composto de um tubo central à uma chapa contínua em espiral. Na extremidade inferior do trado há garras a fim de facilitar a penetração do mesmo no subsolo do terreno.

O trado perfura o terreno por meio de movimento de rotação, transmitida por motores hidráulicos acoplados à extremidade superior da hélice. A hélice é introduzida até a cota inferior de projeto sem que haja sua retirada.

A NBR 6122 (2019) indica que uma vez atingida a profundidade de projeto, deve ser iniciada a injeção contínua de concreto pela haste central do trado. A hélice contínua é retirada sem rotação (ou girando lentamente no mesmo sentido da perfuração), erguendo consigo o material escavado à medida que o concreto ocupa o interior vazio da perfuração. Velloso e Lopes (2010) afirmam que a velocidade de extração da hélice do terreno deve ser tal que a pressão no concreto introduzido no furo seja sempre mantida positiva (e acima de um valor mínimo desejado a fim de preencher todos os vazios deixados pela extração da hélice).

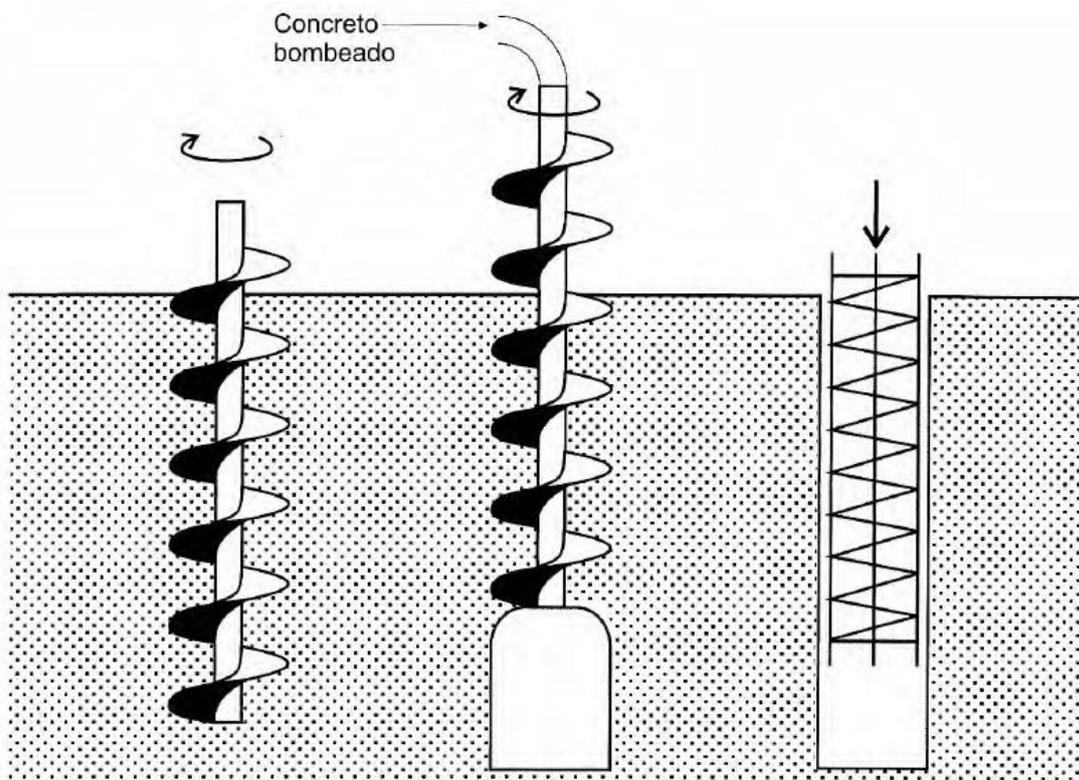
A NBR 6122 (2019) afirma que o concreto deve atender à classe de agressividade do local. Sobre recomendações para a dosagem dos concretos, a mesma norma recomenda concreto C30, com consumo mínimo de  $400 \text{ kg/m}^3$  e fator água/cimento  $\leq 0,6$ ; para concreto C40, consumo mínimo de  $400 \text{ kg/m}^3$  e fator  $a/c \leq 0,45$ .

Ainda conforme a norma supracitada, após o trado ser totalmente retirado e o vazio do furo preenchido por concreto, ocorre a inserção da armadura. Os operários manualmente, ou com auxílio de um peso ou vibrador, inserem a “gaiola” da armadura. Na extremidade inferior, as barras da gaiola de armadura são ligeiramente curvadas de forma a formar um cone, o que facilita a introdução no concreto.

A mesma norma afirma que o controle da execução pode ser monitorado por um computador conectado aos sensores instalados na máquina e gerar dados, tais quais: o comprimento da estaca, inclinação, torque, velocidade de rotação, velocidade de penetração do trado, pressão no concreto, velocidade de extração do trado, volume de concreto inserido, dentre outras informações.

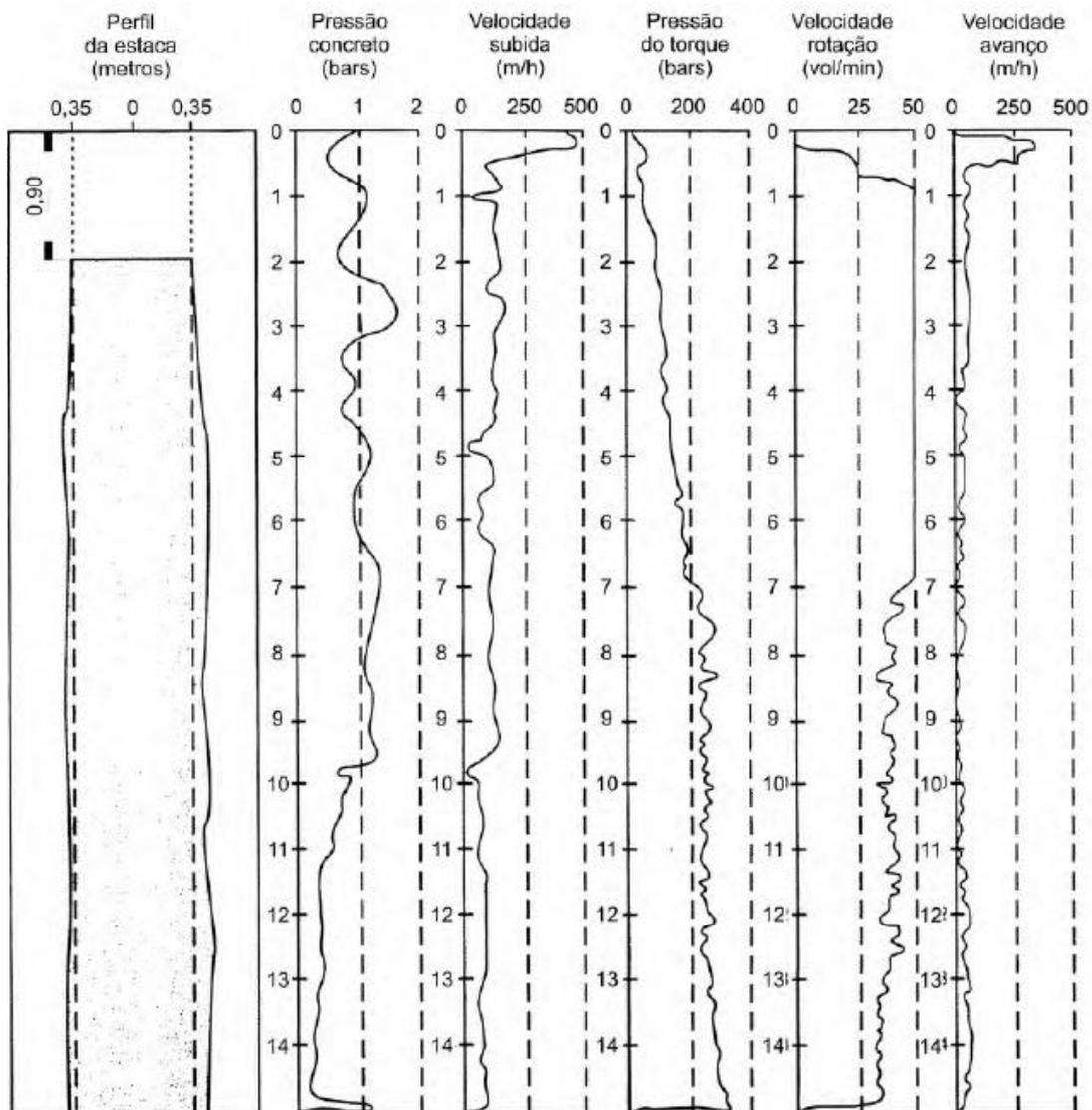
Velloso e Lopes (2010) recomendam que a sequência executiva de uma estaca se dê uma após a outra, devendo serem construídas num raio de 5 vezes os seus respectivos diâmetros de distância das que já tenham sido executadas há pelo menos 24 horas, no entanto a NBR 6122 (2019) permite 12 horas. As figuras 1 e 2 ilustram as etapas de execução da estaca hélice contínua e apresentam a folha de controle de execução da estaca hélice contínua.

Figura 1 – Execução de estaca hélice contínua



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Figura 2 – Folha de controle de execução de estaca hélice contínua ("monitorada")



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

### 2.1.2.2 Estaca pré-moldada

Segundo a NBR 6122 (2019), as estacas pré-moldadas são constituídas de segmentos pré-moldados ou pré-fabricados de concreto e introduzidas no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou por martelo

vibratório. A mesma também afirma que para fins exclusivamente geotécnicos não há distinção entre estacas pré-moldadas e pré-fabricadas.

A aplicação do concreto na fabricação de estacas deve-se ao fato de sua boa resistência aos agentes agressivos, sua capacidade de absorção de grandes cargas concentradas e tolerância do material às alternâncias de secagem e umedecimento. As estacas pré-moldadas podem ser elaboradas em usinas ou mesmo em canteiros de obra e sua classificação geralmente é feita a partir da forma de sua produção, como: concreto vibrado, concreto centrifugado, extrusão e armadura (concreto armado ou protendido), (VELLOSO; LOPES, 2010).

Inicialmente, as estacas pré-moldadas são descarregadas nos canteiros de obra por meio de mecanismos manuais, tais quais o uso de cordas e pranchas especiais, ou mecanismos artificiais, utilização de guindastes. Sua estocagem deve ser feita em terrenos planos a fim de evitar concentração de tensões, não devendo haver mais de duas camadas de pilhagem. Quanto à preparação para inserção, as estacas pré-moldadas são içadas por um guindaste através de cabos de aço e posicionadas nas cavidades a serem inseridas, sendo estas de diâmetro menor que o das estacas com a finalidade de causar aumento do atrito entre solo e concreto. Na sequência, o bate-estaca realiza a cravação por meio de uma série de golpes na extremidade superior do estaca, (VELLOSO; LOPES, 2010).

A etapa de cravação exige atenção por parte de seus executores, pois estas tensões devem ser sempre inferiores à tensão característica do concreto (comumente sugerindo-se tensões de cravação menores que  $0,8f_{ck}$ ). A tensão de cravação pode ser regulada por meio da utilização de amortecedores ou pela altura de queda do martelo que cai sobre a cabeça da estaca, geralmente adotando alturas inferiores a 1 m, (VELLOSO; LOPES, 2010).

A NBR 6122 (2019) em anexo E.4 sugere que a cravação de estacas através de terrenos resistentes à sua penetração pode ser auxiliada com jato d'água ou ar (processo denominado "lançamento") ou através de perfurações. Estas perfurações podem ter suas paredes suportadas ou não, e o suporte pode ser um revestimento a ser recuperado ou a ser perdido, ou lama estabilizante.

As estacas pré-moldadas de concreto armado vibrado executadas nos próprios canteiros de obras, em geral, têm seção transversal quadrada, de 20 cm x 20 cm até 40 cm x 40 cm e comprimento de 4 a 8 m. As estacas pré-moldadas produzidas sob processo industrial, por sua vez, são destinadas à cargas de trabalho maiores e com comprimentos maiores, (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 200).

Basicamente, a principal vantagem das estacas pré-moldadas em relação às estacas moldadas no próprio local é a qualidade do concreto, em razão dos agentes quimicamente agressivos por parte do solo não interferirem na pega e cura do concreto. No entanto, a utilização desse tipo de estaca requer boa precisão nas medidas de profundidade a serem cobertas pelas estacas, caso contrário pode-se haver prejuízos econômicos para a obra por meio de complicações como a necessidade de corte ou emenda de estacas.

### 2.1.2.3 Estaca tipo Franki

As estaca tipo Franki é caracterizada 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. Podendo o fuste ser moldado no terreno ou constituído por um elemento pré-moldado. As estacas Franki pertencem ao grupo das estacas cravadas, podendo ser moldada no próprio local de sua execução. À ponta da estaca encontra-se uma bulbo, preenchido por material granular (bucha seca, sendo essa um tampão de brita com areia ou concreto magro) ou concreto, (VELLOSO; LOPES, 2010).

Segundo a NBR 6122 (2019), a estaca Franki é inicialmente executada por meio de sucessivos golpes de um pilão em uma bucha seca de pedra e areia aderida a um tubo, o qual é cravado no solo ao longo do apiloamento. Uma vez atingida a cota de apoio, expulsa-se a bucha e com a sequência do apiloamento

ocorre a execução da base alargada. Posteriormente, dá-se a instalação da armadura e execução do fuste de concreto apilado com a simultânea retirada do revestimento.

As estacas Franki são inicialmente executadas com a disposição de uma camisa metálica no ponto exato a ser construída a estaca. Na sequência, ocorre a inserção da bucha seca (brita com areia, ou concreto magro seco) no interior de uma camisa metálica, posteriormente sendo comprimida por apiloamento a fim de ser adensada e provocar grande atrito nas laterais da camisa metálica. O material comprimido possibilita a cravação da camisa no interior do solo, dado o atrito da bucha nas laterais metálicas da camisa ser maior que o atrito do solo com o fuste.

Uma vez que a estaca alcança a profundidade desejada, a camisa metálica é presa à plataforma, à superfície, sendo impedida de deslocar-se com o apiloamento da bucha seca. Os golpes continuam a cravar a bucha no solo, que quando despreendida da ponta do fuste, causa a formação de um bulbo nas cotas inferiores às bordas do fuste.

Após o fim da cravação, é inserida a armadura e então o concreto seco é lançado em pequenas quantidades. À medida que apilou-se o concreto, a camisa metálica é erguida cuidadosamente, sempre mantendo o concreto dentro da camisa a fim de evitar que a água do lençol freático penetre o interior vazio do fuste. Em solos moles deve-se haver a aplicação de técnicas de estabilização das paredes da escavação, ou utilização de camisas metálicas perdidas.

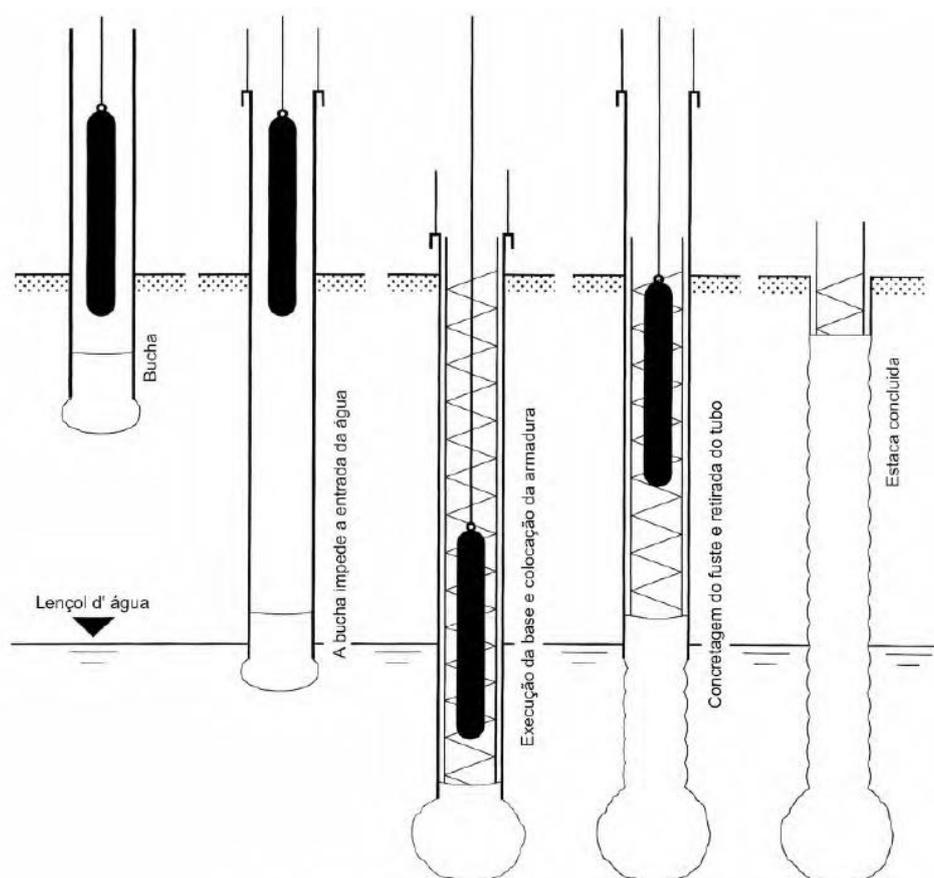
As estacas Franki são executadas com o auxílio de um bate estacas, possibilitando a cravação do elemento no solo com golpes de pilão. A NBR 6122 (2019) afirma que as negas de cravação do tubo devem ser obtidas de duas maneiras em todas as estacas: para 10 golpes de 1,0 m de altura de queda do pilão e pra 1 golpe de 5,0 m de altura de queda do pilão. O consumo mínimo de cimento deve ser de  $350 \text{ kg/m}^3$  e  $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$  aos 28 dias, conforme a NBR 6118, NBR 5738 e NBR 5739.

As armaduras das estacas Franki são longitudinais (ao longo de seu comprimento) ou transversais (com a disposição segregada dos estribos ou formação de espirais).

A estaca Franki possui a vantagem de poder ser construída em diferentes tipos de solo, com ou sem presença de água. Pode suportar grandes cargas, apresentando boa resistência lateral e de ponta, e é capaz de atingir camadas profundas do solo. No entanto, devido sua execução gerar muitas vibrações no solo, seu uso próximo à edifícios deve ser criteriosamente analisado com risco de comprometer as construções vizinhas. Também deve-se considerar o tempo elevado em sua execução, possibilitando maiores custos com mão de obra e a utilização de grande espaço no canteiro para utilização dos equipamentos, (VELLOSO; LOPES, 2010).

A figura 3 a seguir ilustra a execução da estaca Franki:

Figura 3 – Execução da estaca Franki Standard.



Fonte: Velloso; Lopes (2010).

### 2.1.3 Capacidade de Carga

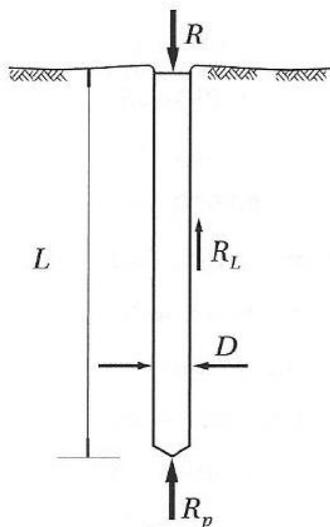
Toda a carga proveniente da estrutura é direcionada às fundações e posteriormente aplicada ao solo, caracterizando assim o sistema fundação-solo, elemento estrutural (fundação) e elemento geotécnico (maciço de solo). O aumento gradativo da tensão  $\sigma$ , gerada pela razão do incremento da força  $P$  pela área aplicada, ocasionará uma superfície potencial de ruptura no interior do maciço de solo (entendendo-se por ruptura o cisalhamento ou deslizamento de uma parte de maciço sobre uma zona de apoio fixa). Assim, a capacidade de carga  $R$  é o somatório da resistência máxima mobilizada por parte do sistema-solo na iminência da ruptura, em outras palavras, a resistência máxima suportada pelo solo e estrutura sem que haja deslocamentos significativos do sistema, (CINTRA; AOKI, 2010).

Em fundações profundas, a capacidade de carga  $R$  é composta por duas parcelas: resistência lateral ( $R_L$ ) e resistência de ponta ( $R_P$ ). Inicialmente, ao longo do aumento da carga sobre a fundação ocorre a mobilização da resistência lateral até seu limite, e então a resistência de ponta passa a contribuir de modo significativo. Portanto, tecnicamente, a mobilização da resistência de ponta conta com o esgotamento de todo o atrito lateral. Assim, segundo Cintra e Aoki (2010), para a capacidade de carga tem-se:

$$R = R_L + R_P \quad (2.1)$$

A figura a seguir ilustra as parcelas de resistência do sistema estrutura-solo que combatem a carga incidente na estaca.

Figura 4 – Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga



Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Em termos geotécnicos, *ruptura* não diz respeito ao despedaçar ou quebra da fundação, mas sim ao recalque significativo (além do previsto em projeto), sendo este reduzido ou cessado com a redução da carga aplicada. No entanto, em determinadas situações é possível que a capacidade de carga seja maior que a resistência à compressão da estaca. Sob tal circunstância, admite-se o menor valor da resistência na confecção do projeto (CINTRA e AOKI, 2010).

A resistência de ponta ( $R_p$ ) é dada pelo produto da variável geotécnica de resistência da ponta ( $r_p$ ), em unidade de tensão, pela área da seção transversal da ponta ou base da estaca ( $A_p$ ), conforme equacionado abaixo:

$$R_p = r_p \cdot A_p \quad (2.2)$$

Ainda segundo os mesmos autores, quanto ao atrito lateral, este é o resultado do somatório de forças resistentes laterais ( $r_L$ ) atuantes ao longo de toda a estaca. A área ao longo da estaca é dada pelo produto do perímetro ( $U$ ) e os segmentos das diferentes camadas de solo ( $\Delta L$ ):

$$R_L = U \cdot \sum r_L \cdot \Delta L \quad (2.3)$$

Logo, com a substituição das equações 2.2 e 2.3 (as duas parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga) em 2.1, obtém-se:

$$R = U \cdot \sum r_L \cdot \Delta_L + r_p \cdot A_p \quad (2.4)$$

Segundo Bastos (2019), os termos capacidade de carga da estaca e capacidade de carga geotécnica não devem ser confundidos com capacidade de carga do elemento da fundação, dado que tais expressões traduzem a concepção do sistema formado pelo elemento estrutural e pelo geotécnico, respectivamente. O termo capacidade de carga do elemento da fundação, por sua vez, refere-se a todo o sistema solo-estrutura.

Apesar da engenharia de fundações possuir métodos teóricos de previsão da capacidade de carga de elementos de fundações, os resultados ainda mantêm alta variabilidade em relação às resistências obtidas via meios experimentais (com maior precisão). Portanto, é comum por parte de diversos autores a elaboração de métodos semi-empíricos baseados em correlações fundamentadas em experimentos de investigações geotécnicas e outros métodos realizados in situ. Dentre tais métodos, pode-se citar o método proposto por Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996), porém em função dos objetivos deste trabalho será aqui apresentado apenas o método desenvolvido por Aoki-Velloso (1975).

Segundo Cintra e Aoki (2010), as incógnitas geotécnicas na equação 2.4, isto é,  $r_L$  e  $r_p$  eram inicialmente correlacionadas com os ensaios de penetração estática CPT por meio da resistência do cone ( $q_c$ ) e atrito lateral unitário ( $f_s$ ), respectivamente, conforme equacionado a seguir:

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (2.5)$$

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (2.6)$$

Sendo  $F_1$  e  $F_2$  fatores de correção que levam em conta a diferença de comportamento entre a estaca (protótipo) e o cone CPT (modelo), e também a influência do método executivo de cada tipo de estaca. No entanto, em função do ensaio mais popular no Brasil ser o SPT, a resistência de ponta ( $q_c$ ) é dada em função do índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ):

$$q_c = K \cdot N_P \quad (2.7)$$

Onde  $K$  é o coeficiente dado a partir do tipo de solo e  $N_P$  é o índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca.

Segundo Cintra e Aoki (2010), mesmo tipo de substituição também se aplica ao coeficiente do atrito lateral dado em função de  $N_{SPT}$  com a introdução da razão de atrito ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{f_s}{q_c} \quad (2.8)$$

Substituindo a equação 2.7 em 2.8 obtém-se:

$$f_s = \alpha \cdot K \cdot N_L \quad (2.9)$$

Onde  $N_L$  é o índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura  $\Delta L$ . Assim, substituindo as equações 2.7 e 2.9 em 2.5 e 2.6 respectivamente, tem-se:

$$r_p = \frac{K \cdot N_P}{F_1} \quad (2.10)$$

$$r_L = \frac{\alpha \cdot K \cdot N_L}{F_2} \quad (2.11)$$

Por fim, substituindo as equações 2.10 e 2.11 em 2.4, obtém-se:

$$R = \frac{U}{F_2} \cdot \sum \alpha \cdot K \cdot N_L \cdot \Delta L + \frac{A_p}{F_1} \cdot K \cdot N_P \quad (2.12)$$

Os valores do coeficiente  $K$  e da razão de atrito  $\alpha$  são dados de acordo ao tipo de solo, conforme apresentado na Tabela 1. Quanto aos fatores de correção,  $F_1$  e  $F_2$ , estes são dados conforme o tipo de estaca utilizada e estão presentes na Tabela 2:

Tabela 1 – Valores dos coeficiente  $K$  e  $\alpha$

<b>SOLO</b>	<b>K (MPA)</b>	<b><math>\alpha</math> (%)</b>
Areia	1	1,4
Areia siltosa	0,8	2
Areia siltoargilosa	0,7	2,4
Areia argilosa	0,6	3
Areia argilossiltosa	0,5	2,8
Silte	0,4	3
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3
Argila	0,2	6
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,3	2,8
Argila siltosa	0,22	4
Argila siltoarenosa	0,33	3

Fonte: Adaptado de AOKI e VELLOSO (1975)

Tabela 2 – Fatores de correção  $F_1$  e  $F_2$  atualizados.

<b>TIPO DE ESTACA</b>	<b><math>F_1</math></b>	<b><math>F_2</math></b>
Franki	2,5	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1+D/0,8	2F1
Escavada	3	2F1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2	2F1

Fonte: Adaptado de CINTRA e AOKI (2010)

### 2.1.4 Carga Admissível

No tópico anterior foi feita uma breve apresentação da capacidade de carga, entendendo-a como a máxima resistência oferecida pelo sistema solo-fundação com base na perspectiva geotécnica e resultados do ensaio SPT. Assim, a capacidade de carga diz sobre a máxima resistência de uma estaca isolada, no entanto a carga admissível diz sobre a tensão admissível de todo o conjunto de estacas, de mesma seção transversal, do estaqueamento em análise. A carga admissível ( $P_a$ ) é dada pela razão entre o valor médio da capacidade de carga ( $R_{méd}$ ) e o fator de segurança global ( $F_S$ ):

$$P_a = \frac{R_{méd}}{F_S} \quad (2.13)$$

Considerando toda uma área com dezenas ou mesmo centenas de estacas, verificar-se-á que os resultados de capacidade de carga não corresponderão a um valor idêntico comum. Isto pode ser explicado pela variabilidade das camadas de solo sob o terreno, permitindo, assim, observar a capacidade de carga ( $R$ ) como uma variável aleatória e, conseqüentemente, constituir um gráfico função densidade de probabilidade de resistência  $f_R(R)$ . Logo, pode-se afirmar que cada estaca de fundação possui seu próprio fator de segurança (obtido via razão de sua capacidade de carga ( $R$ ) e a sua carga admissível ( $P_a$ )), não sendo necessariamente igual ao fator de segurança global ( $F_S$ ), sendo este correspondente ao fator de segurança médio de todo o estaqueamento. Portanto, o fator de segurança global é definido pela razão entre os valores médios de resistência ( $R_{méd}$ ) e de solicitação ( $S_{méd}$ ):

$$F_S = \frac{R_{méd}}{S_{méd}} \quad (2.14)$$

É possível notar equivalência entre 2.13 e 2.14, sendo suficiente garantir que a solicitação média das estacas não seja maior que a carga admissível ( $P_a \geq S_{méd}$ ). No entanto, a prática consagrou-se a favor da segurança ao estabelecer

a verificação de todos os valores disponíveis de solicitação ( $P_a \geq S_i$ ), (CINTRA e AOKI, 2010).

Uma vez considerando uma relação entre os valores médio e característico de resistência e outra relação entre os valores característicos e médio de solicitação,  $\gamma_R$  e  $\gamma_S$ , respectivamente, pode-se demonstrar que o fator de segurança ( $F_S$ ) passa a ser formulado pelo seguinte produto, (CINTRA e AOKI, 2010):

$$F_S = \gamma_S \cdot \gamma_f \cdot \gamma_m \cdot \gamma_R \quad (2.15)$$

Onde  $\gamma_f$  é o fator de majoração do valor característico da solicitação ( $S_k$ ) e  $\gamma_m$  é o fator de minoração da resistência característica ( $R_k$ ).

A NBR 6122 (2019), segundo item 6.2.1.2.1 determina que o  $F_S$  aplicado no cálculo da carga admissível seja 2, o mesmo também é admitido em situações em que a capacidade de carga é calculada por método semiempírico (devendo o valor mínimo de 2 ser respeitado para o valor médio de R e não para cada valor isolado de R). Aoki e Velloso, autores do método semiempírico de determinação da capacidade de carga, optam por adotar 2 como valor do fator de segurança global.

Admite-se que, quando estacas escavadas, o percentual máximo a ser suportado pela ponta da estaca é 20% da carga admissível máxima, enquanto o mínimo para a resistência lateral é de 80% da carga admissível máxima (CINTRA e AOKI, 2010, p. 42).

Em Cintra e Aoki (2010), ao abordar a determinação da carga admissível, são apresentadas três metodologias de projeto as quais consideram a verificação do estado limite último (ELU) na segurança da fundação.

A primeira metodologia é responsável por adotar a carga admissível ( $P_a$ ) como a própria carga de catálogo da estaca ( $P_e$ ) (sendo a carga de catálogo semelhante à carga estrutural, indicada pelo executor ou fabricante a partir do tipo da estaca, seção transversal do fuste ou diâmetro), posteriormente multiplicando o valor pelo fator de segurança, resultando na capacidade de carga. Na sequência, o comprimento da estaca ( $L$ ) é assumido por tentativa, desde que

apresente carga resistente compatível com a capacidade de carga. A vantagem dessa metodologia consiste no melhor aproveitamento da estaca, porém pode-se resultar em complicações caso a carga admissível seja superior à carga de catálogo.

$$P_a = P_e \rightarrow R = P_a \cdot F_S \rightarrow L$$

Onde  $\rightarrow$  pode ser lido como “implica”.

A segunda metodologia, por sua vez, resume-se a casos onde há limitação do equipamento, conseqüentemente, resultando na limitação do comprimento máximo ( $L_{m\acute{a}x}$ ) para a estaca (também ocorrendo para situações em que o nível d'água limite a profundidade máxima, a depender do material utilizado para a estaca). Logo, o comprimento limite para a estaca é adotado como valor máximo, a partir do qual é calculado a capacidade de carga correspondente e aplica-se o fator de segurança, resultando na carga admissível:

$$L = L_{m\acute{a}x} \rightarrow R \rightarrow P_a = \frac{R}{F_S}$$

A terceira metodologia baseia-se na faixa de  $N_{SPT}$  peculiar à parada da execução de cada tipo de estaca, dado a ineficiência do equipamento a partir de tais valores. Assim, uma vez obtidos os valores de  $N_{SPT}$  que estejam limitados aos valores limites ( $N_{lim}$ ), tem-se a indicação das cotas prováveis para o encerramento da execução das estacas, isto é o comprimento ( $L$ ) da estaca. De posse desses valores, é calculada a capacidade de carga e, enfim, a carga admissível:

$$N_{lim} \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow P_a = \frac{R}{F_S}$$

É válido ressaltar que Cintra e Aoki (2010) afirmam que as três metodologias são interdependentes, isto é, a preferência por uma delas não necessariamente indica a exclusão das outras, sempre havendo, pois, a necessidade de verificação dos outros dois métodos.

### 2.1.5 Confiabilidade em Fundações

De maneira geral, a heterogeneidade dos solos é assim caracterizada por suas camadas irregulares contidas numa superfície relativamente pequena, DAS e SOBHAN (2014). Tal heterogeneidade influi diretamente na confiabilidade dos projetos de fundação, tornando necessária a aplicação de fatores de segurança da norma a fim de compensar a irregularidade dos valores de resistência dos solos. Porém, apesar de muitas vezes satisfatórios, os fatores da norma não são eficientes, pois há ocasiões em que são responsáveis pelo superdimensionamento da fundação, enquanto outras não garantem o equilíbrio entre as cargas de solicitação e resistência, (RICARDO, 2015).

Os projetos e execuções de fundações atuais ainda se baseiam no determinismo científico. Em outras palavras, a engenharia de fundações ainda não considera a natureza aleatória das várias variáveis envolvidas nos projetos de modo satisfatório, SILVA (2003). Assim, é recomendado, e por vezes necessária, a adoção de metodologias probabilísticas na elaboração de projetos de fundação em adição à aplicação dos fatores de norma a fim de afirmar a segurança e analisar o custo-benefício na construção desses elementos.

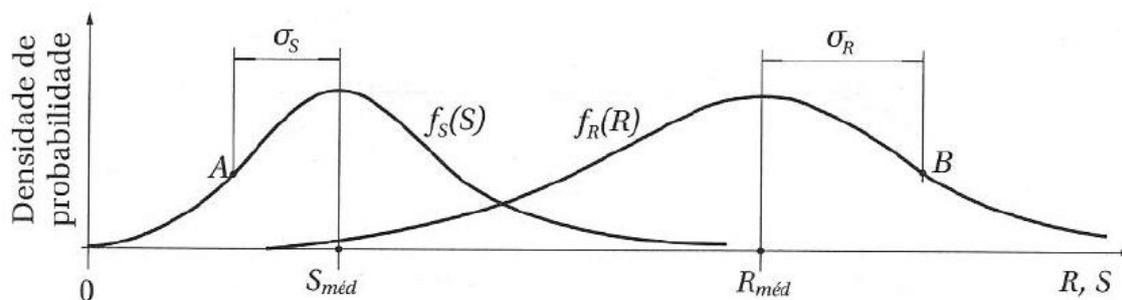
## 2.2 PROBABILIDADE DE RUÍNA

### 2.2.1 Insuficiência do Fator de Segurança Global

Conforme apresentado anteriormente, para cada estaca tem-se um valor correspondente à capacidade de carga (R) e à carga solicitante (S), podendo-se

a partir destas fazer uma análise estatística e elaborar as curvas das funções de densidade de probabilidade de resistência e de solicitação,  $f_R(R)$  e  $f_S(S)$ , respectivamente, conforme ilustrado na Figura 5, considerando caso de distribuição normal simétrica.

Figura 5 – Curvas de densidade de probabilidade de resistência e solicitação



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

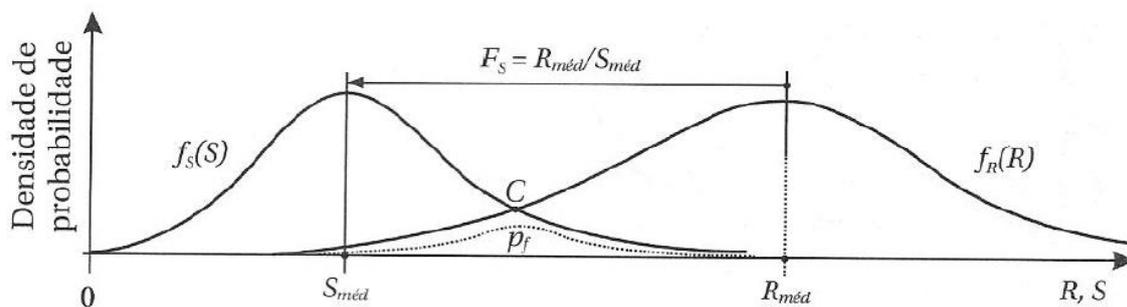
Onde ( $S_{méd}$ ) e ( $R_{méd}$ ) são os valores médios de solicitação e de resistência, respectivamente, e ( $\sigma_S$ ) e ( $\sigma_R$ ) os desvios padrões, responsáveis por quantificar a dispersão em torno do valor médio das variáveis independentes aleatórias ( $R$ ) e ( $S$ ). Segundo Cintra e Aoki (2010), as dispersões ( $\sigma_S$ ) e ( $\sigma_R$ ) podem ser expressas pelos coeficientes de variação da solicitação ( $v_S$ ) e da resistência ( $v_R$ ):

$$v_S = \frac{\sigma_S}{S_{méd}} \quad (2.16)$$

$$v_R = \frac{\sigma_R}{R_{méd}} \quad (2.17)$$

Assim, segundo CINTRA e AOKI (2010), o problema do fator de segurança global ( $F_S$ ), equação 2.14, reside no fato de que o mesmo consiste em valores médios de resistência e solicitação, ( $R_{méd}$ ) e ( $S_{méd}$ ), desprezando a variabilidade de  $R$  e  $S$ . O fator de segurança global mede a proporção de  $R_{méd}$  em relação a  $S_{méd}$ , sendo esta a mesma distância do afastamento entre as curvas, conforme ilustrado na Figura 6:

Figura 6 – Curva de probabilidade de ruína



Fonte: Cintra e Aoki (2010).

A probabilidade total de ruína ( $p_f$ ) da fundação pode ser dada a partir do cálculo da área abaixo da curva pontilhada na Figura 6, calculada a partir da formulação a seguir:

$$p_f = \int_{-\infty}^{\infty} f_S(S) \cdot f_R(R) ds \quad (2.18)$$

Uma hipotética redução no fator de segurança global implica numa aproximação entre as curvas de solicitação e resistência ilustradas pela Figura 6, o que conseqüentemente resultaria no aumento da área pontilhada, isto é, ter-se-ia a probabilidade de falha aumentada. Logo, é notável que quanto maior o fator de segurança global, maior a distância entre as curvas e menor a probabilidade de ruína.

Segundo Cintra e Aoki (2010), caso fossem considerados diferentes valores para a solicitação, todos inferiores à carga admissível ( $P_a$ ), ainda haveria probabilidade para ruína da fundação. Isto pode ser explicado pelo fato de se ignorar as dispersões em torno do valor da resistência média, independentemente do quão grande ou pequeno seja o desvio padrão. O mesmo quadro também é aplicado aos fatores de segurança previstos em norma, os quais são passíveis de resultar em falhas na fundação.

### 2.2.2 Variáveis Envolvidas

Conforme apresentado no item anterior, nota-se a interdependência do fator de segurança ( $F_s$ ) e a probabilidade de falha ( $p_f$ ). A partir disso, considerando dois casos de fundações profundas, no qual ambos possuem mesmo fator de segurança e estaqueamentos diferentes, tendo o primeiro menor variabilidade nos valores de resistência, implicaria numa curva ( $R$ ) mais retraída em torno dos valores médios para o primeiro caso. Isso significa maior distância entre as curvas de solicitação e resistência para a primeira situação, implicando numa menor probabilidade de falha em relação ao segundo caso.

Além do fator de segurança global, a probabilidade de ruína depende das formas das curvas de solicitação e resistência, (CINTRA; AOKI, 2010). Portanto, ainda segundo os mesmos autores, a forma da curva (considerando distribuição normal) é moldada pelo valor médio conhecido e seus coeficientes de variação, podendo assim alcançar o resultado de quatro variáveis: o fator de segurança global ( $F_s$ ), probabilidade de falha ( $p_f$ ) e os coeficientes de variação da resistência e solicitação,  $v_R$  e  $v_S$ .

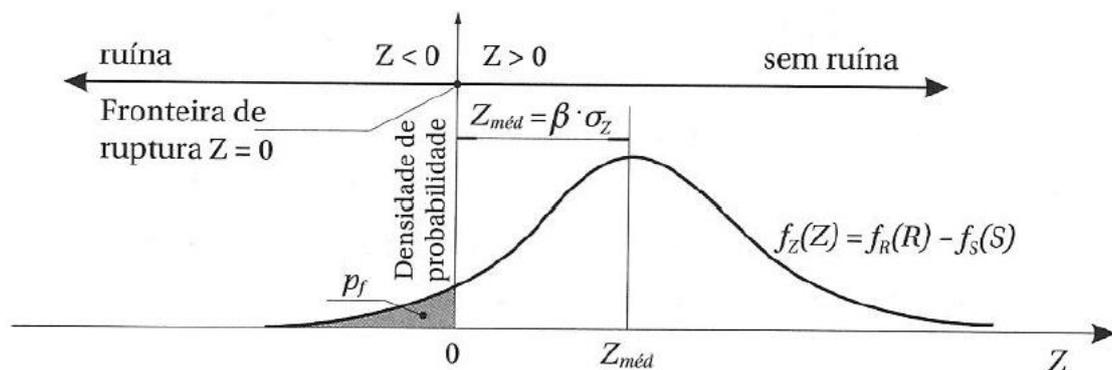
### 2.2.3 Margem de Segurança

Inicialmente a função margem de segurança  $f_Z(Z)$  parte da diferença entre as curvas de resistência ( $R$ ) e solicitação ( $S$ ) (considerando, à princípio, a independência das curvas de solicitação e resistência), (CINTRA; AOKI, 2010):

$$f_Z(Z) = f_R(R) - f_S(S) \quad (2.19)$$

Assim, quando  $Z \leq 0$  tem-se a ocorrência de ruína, e  $Z > 0$  não há ocorrência de ruína. A Figura 7 a seguir ilustra a ocorrência de falha na área hachurada da curva:

Figura 7 – Função margem de segurança



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

O desvio padrão ( $\sigma_Z$ ) da função margem de segurança para o caso da distribuição normal de (R) e (S) é dado por:

$$\sigma_Z = \sqrt{(\sigma_R)^2 + (\sigma_S)^2} \quad (2.20)$$

Onde ( $\sigma_R$ ) e ( $\sigma_S$ ) são o desvio padrão da resistência e solicitação, respectivamente. O valor médio ( $Z_{méd}$ ) da função margem de segurança é dado pela equação a seguir:

$$Z_{méd} = R_{méd} - S_{méd} \quad (2.21)$$

Substituindo a equação 2.14 em 2.21, pode-se reescrever 2.21 em:

$$Z_{méd} = S_{méd} \cdot (F_S - 1) \quad (2.22)$$

#### 2.2.4 Índice de confiabilidade

De acordo com BECK (2014), o índice de confiabilidade ( $\beta$ ) é uma medida geométrica da probabilidade de falha, correspondente à mínima distância entre a equação de estado limite e a origem do espaço normal padrão. Esta medida

também pode ser utilizada para exprimir o valor médio da margem de segurança ( $Z_{méd}$ ) em termos de unidades do desvio padrão ( $\sigma_Z$ ):

$$Z_{méd} = \beta \cdot \sigma_Z \quad (2.23)$$

Consultando a Figura 7 é possível notar que a probabilidade de ruína é maior à medida que  $Z_{méd}$  é menor, partindo do princípio que não haja alterações nos valores do desvio padrão. A partir da equação 2.23 tem-se que quanto menor o valor de  $Z_{méd}$  menor será o valor  $\beta$ , indicando relação inversamente proporcional entre  $\beta$  e  $p_f$  do estaqueamento. Por definição  $\beta$  e o coeficiente de variação da margem de segurança também têm uma relação inversamente proporcional, (CINTRA e AOKI, 2010):

$$\beta = \frac{Z_{méd}}{\sigma_Z} = \frac{1}{v_Z} \quad (2.24)$$

A probabilidade de ruína  $p_f$  é função direta de  $\beta$  e o mesmo foi demonstrado por Ang e Tang (1984):

$$p_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.25)$$

Onde  $\Phi$  é a função de distribuição normal, cuja tabela é popular em livros de estatística. O software editor de planilhas desenvolvido pela Microsoft, o Excel, por sua vez permite o cálculo prático da probabilidade de ruína ( $p_f$ ) a partir de  $\beta$ , (CINTRA; AOKI, 2010):

$$p_f = 1 - \text{DIST.NORM}(\beta; 0; 1; \text{VERDADEIRO}) \quad (2.26)$$

Independente dos fatores de segurança adotados, Cintra e Aoki (2010) alertam para o fato de que os elementos de fundações estarão sempre acompanhados pela existência do risco de ruína. Assim, é justificada a necessidade de se estimar o risco e, conseqüentemente, elaborar projetos com riscos aceitáveis.

Atualmente (2019), as normas não preconizam quaisquer limites de valores para a probabilidade de ruína em projetos de fundações. Contudo, é possível encontrar literaturas que abordam limites aceitáveis, tais quais são mencionados em BASTOS (2019):

- Lumb (1966): Sugere que os valores aceitáveis para a probabilidade de ruína sejam da ordem de 1/1.000 a 1/100.000;
- Meyerhof (1969): Indica valores aceitáveis de probabilidade de ruína entre 1/1000 e 1/10.000, considerando fator de segurança de 2 a 3;
- Whitman (1984): Estabelece risco admissível, valores na ordem de 1/100 a 1/1.000.

#### 2.2.5 Método de Confiabilidade de Primeira Ordem – FORM

FORM (*First Order Reability Method*) ou método de confiabilidade de primeira ordem é um método para a previsão da probabilidade de falha, sendo usualmente reconhecido por sua eficiência. A estimativa calculada por este método é dada em função da quantidade de variáveis e de suas propriedades, tais quais as variáveis aleatórias envolvidas no problema ou o seu grau de não linearidade, (RICARDO, 2015).

O método FORM atua na elaboração de uma função conjunta de distribuição de probabilidade,  $f_X(x)$ , a partir de informações existentes, que em sua maioria são limitadas pelas funções de distribuição marginal e coeficientes de correlação entre pares de variáveis aleatórias. Além da função conjunta de distribuição de probabilidade,  $f_X(x)$ , o método FORM também é responsável pela sua transformação no espaço normal padrão ( $Y$ ), (BECK, 2014).

Em outras palavras, o método FORM consiste na transformação da função de densidade de probabilidade do espaço de projeto ( $X$ ) para o espaço normal padrão ( $Y$ ), (RICARDO, 2015). De posse do espaço padrão, é possível calcular o índice de confiabilidade ao determinar a distância da origem da curva do

espaço padrão ao ponto de projeto (ou ponto de projeção da equação de estado limite sobre a origem do espaço normal padrão ( $\mathbf{Y}$ ), (BECK, 2014).

O método de confiabilidade FORM além de fornecer a probabilidade de falha, possibilita a determinação de medidas de sensibilidade (índice de sensibilidade). Essa medida é responsável por avaliar individualmente a contribuição de cada variável aleatória na composição da probabilidade de falha, (RICARDO, 2015). Segundo Erazo (2011), o índice de sensibilidade também leva em consideração os efeitos e erros que as diversas suposições geram na equação de estado limite proposta.

### 2.2.6 Simulação de Monte Carlo

A simulação de Monte Carlo é uma técnica de realização de experimentos computacionais regidos em modelos matemáticos a fim de possibilitar a resolução de problemas complexos. Este método é usualmente denominado de “método exato” em razão do resultado simulatório tender à exatidão quando o número de simulações tende ao infinito, (RICARDO, 2015). Segundo Beck (2014), a precisão dos resultados depende da qualidade dos números aleatórios utilizados.

Segundo Ricardo (2015), a medida que se têm valores menores para a probabilidade de falha, maior deverá ser o número de simulações necessárias a fim de gerar resultados mais precisos. O método pode ser basicamente expresso em três etapas:

- Etapa 1: Geração de  $n_{si}$  (número de simulações) realizadas das variáveis aleatórias  $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  a partir da função conjunta de densidade  $f_x(\mathbf{x})$ ;
- Etapa 2: Verificação da ocorrência de falha, ou não, a partir da função indicadora  $I[\mathbf{X}]$  dada pela equação 2.27:

$$\begin{cases} I[\mathbf{X}] = 1, \forall \mathbf{x} \in D_f \\ I[\mathbf{X}] = 0, \forall \mathbf{x} \notin D_f \end{cases} \quad \text{Eq. 2.27}$$

Onde ( $D_f$ ) representa o domínio de falha.

- Etapa 3: Estimativa da média e da variância da probabilidade de falha através das equações 2.28 e 2.29:

$$E[I[\mathbf{X}]] \cong \hat{P}_f \cong \frac{1}{n_{si}} \cdot \sum_{i=1}^n I[\mathbf{X}_i] = \frac{n_f}{n_{si}} \quad \text{Eq. 2.28}$$

$$Var[\hat{P}_f] = \frac{1}{n_{si}-1} \cdot \sum_{i=1}^n (I[\mathbf{X}_i] - \hat{P}_f)^2 = \frac{n_f}{n_{si}} \quad \text{Eq. 2.29}$$

Onde ( $n_f$ ) corresponde ao número de pontos no domínio de falha e ( $n_{si}$ ) é o número de simulações realizadas.

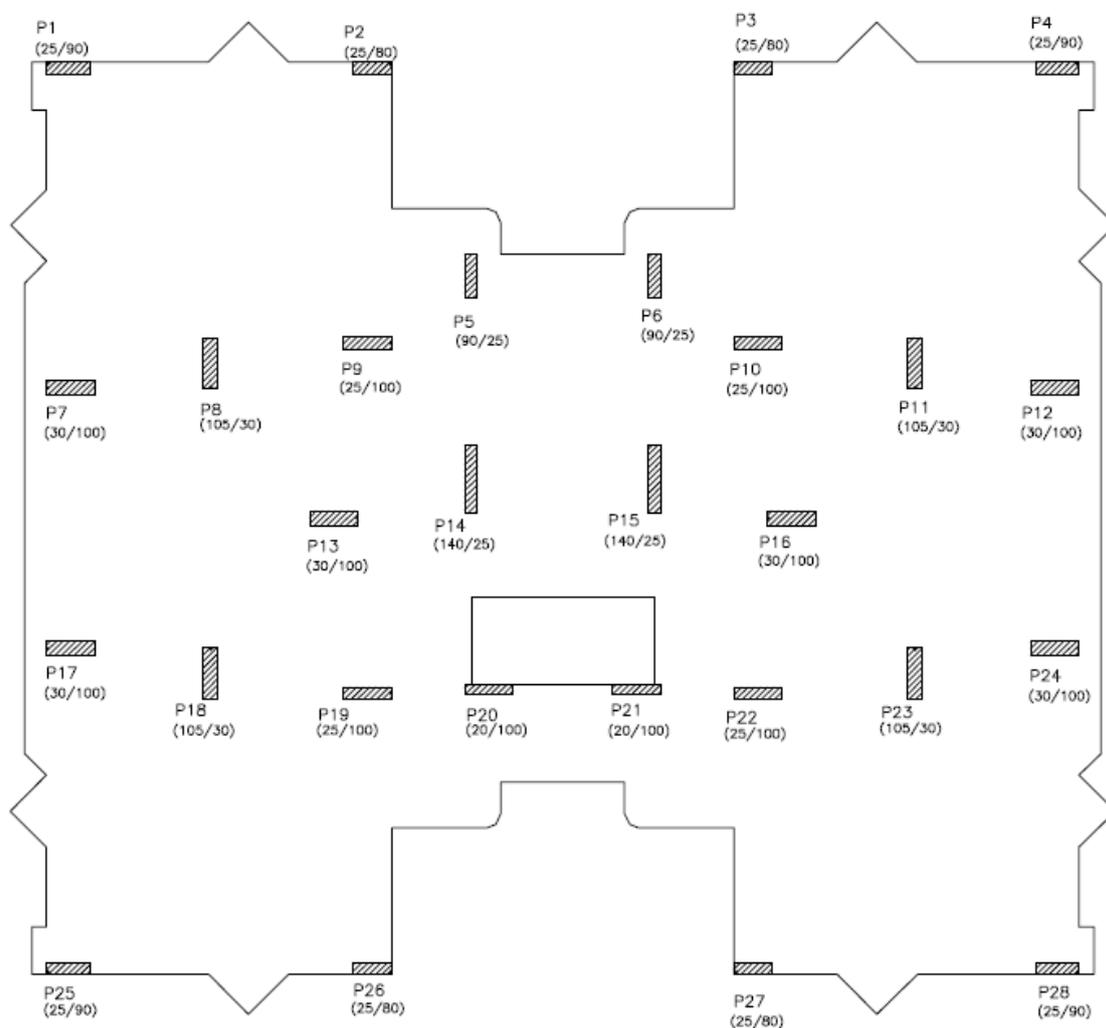
A técnica de simulação de Monte Carlo é uma importante ferramenta da confiabilidade em razão à sua robustez e simplicidade, no entanto limita-se ao custo computacional que pode exigir em função do aumento da precisão da estimativa, (MAHSULI; HAUKAAS, 2013).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Dados do estudo de caso

O objeto de estudo de análise de confiabilidade a ser utilizado neste trabalho é um projeto de um edifício residencial de 14 pavimentos, com área aproximada de 372,6 m<sup>2</sup> por andar. O projeto dispõe de planta de carga dos pilares, ilustrado na Figura 8 (cargas dos pilares apresentadas na Tabela 3).

Figura 8 – Planta de locação dos pilares



Fonte: Autor (2020)

Tabela 3 – Tabela de cargas dos pilares (projeto estrutural)

<b>Pilar</b>	<b>Seção (cm x cm)</b>	<b>Força (kN)</b>
1	25 x 90	2636
2	25 x 80	2540
3	25 x 80	2530
4	25 x 90	2834
5	90 x 25	3130
6	90 x 25	3143
7	30 x 100	3173
8	105 x 30	3301
9	25 x 100	2580
10	25 x 100	2474
11	105 x 30	3364
12	30 x 100	3349
13	30 x 100	2782
14	140 x 25	3585
15	140 x 25	3704
16	30 x 100	2767
17	30 x 100	3213
18	105 x 30	3287
19	25 x 100	3075
20	20 x 100	2156
21	20 x 100	2190
22	25 x 100	3006
23	105 x 30	3349
24	30 x 100	3357
25	25 x 90	2503
26	25 x 80	2604
27	25 x 80	2682
28	25 x 90	2463

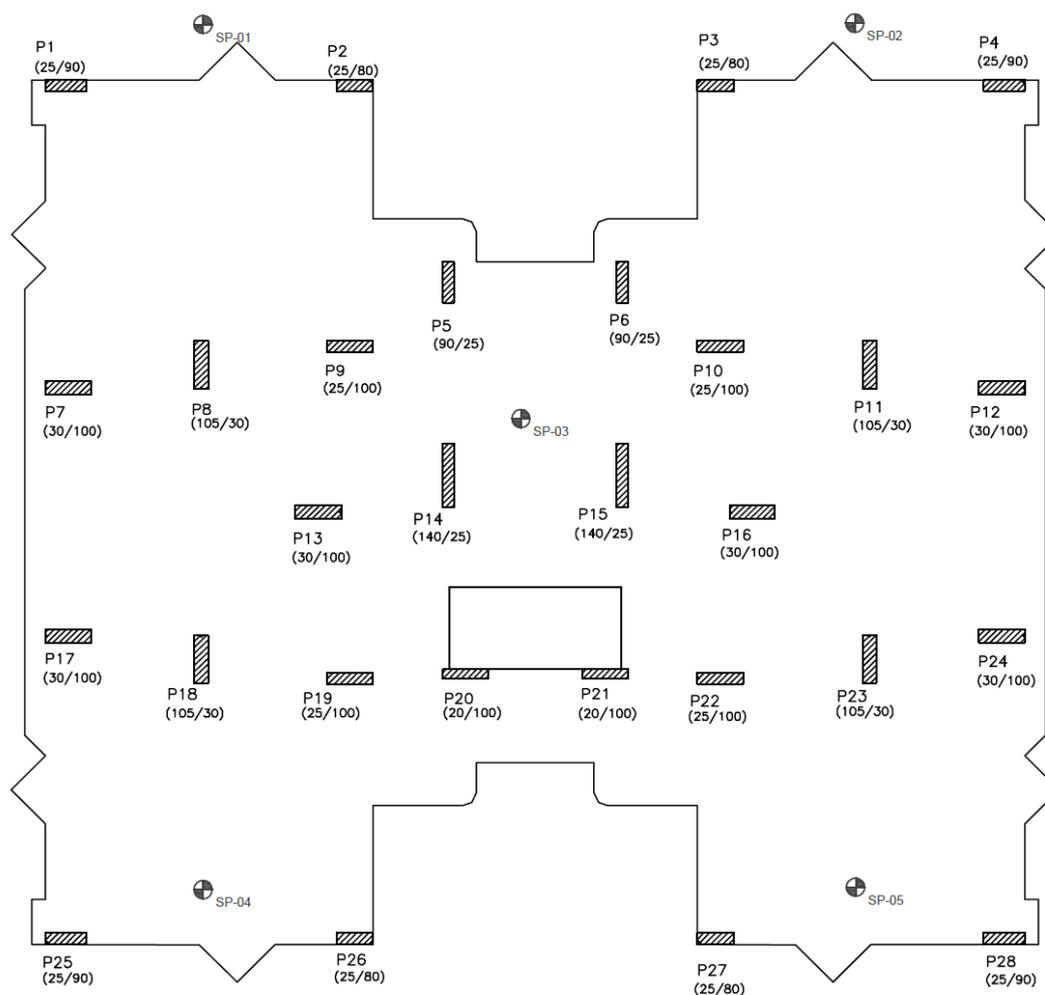
Fonte: Autor (2020)

É válido ressaltar que, por motivos práticos, a metodologia aqui utilizada não incluiu os esforços provenientes dos momentos incidentes nas estacas, o que conseqüentemente aumentariam os valores de solicitação.

### 3.2 Estaqueamento e perfis de solo

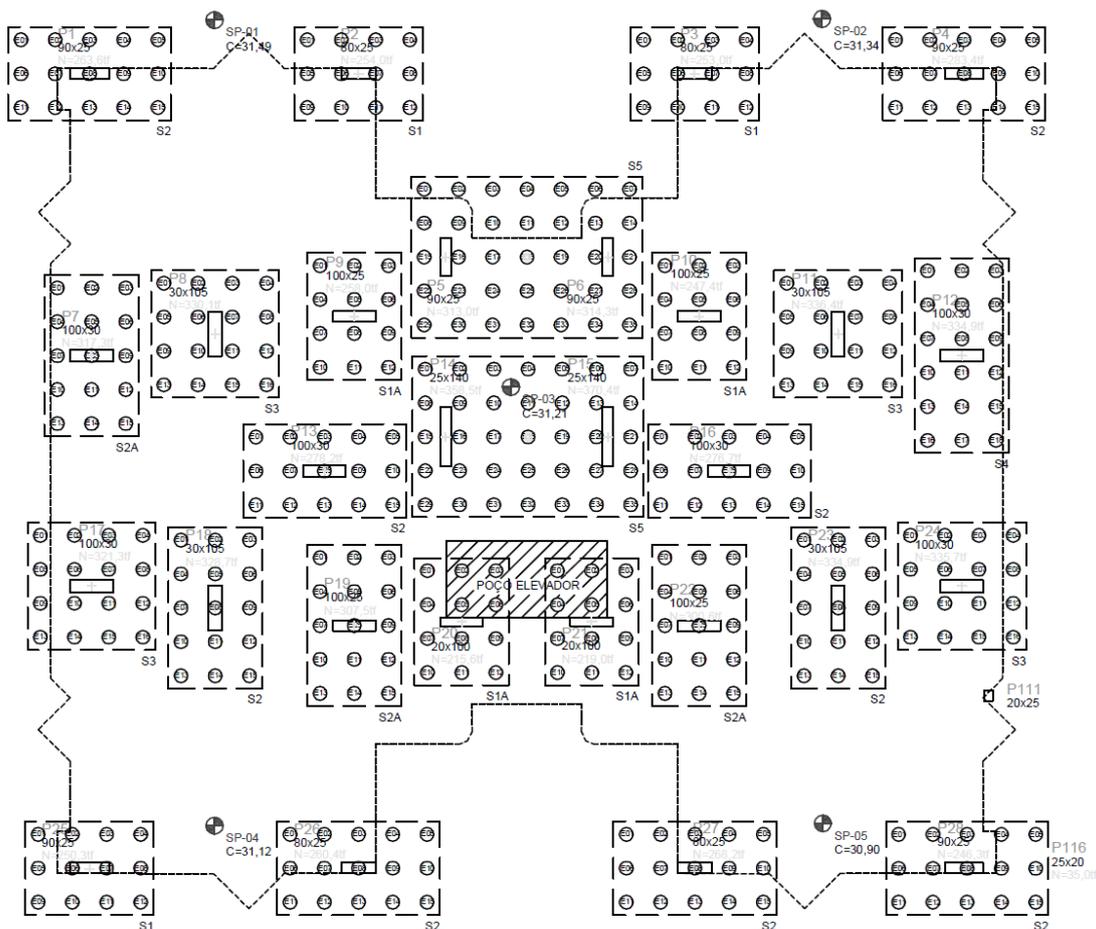
Tendo por base a alocação dos furos pela Figura 9, pode-se notar que a região da torre conta com 5 pontos de ensaio SPT (SP 01-05, relatórios de sondagem disponíveis no Anexo A). Os ensaios SPT (os quais contém informação sobre a resistência das camadas do subsolo) são imprescindíveis para o cálculo da capacidade de carga das estacas via métodos semi-empíricos. Originalmente o estaqueamento da torre contém 416 estacas, conforme Figura 10.

Figura 9 – Pontos de ensaio SPT



Fonte: Autor (2020)

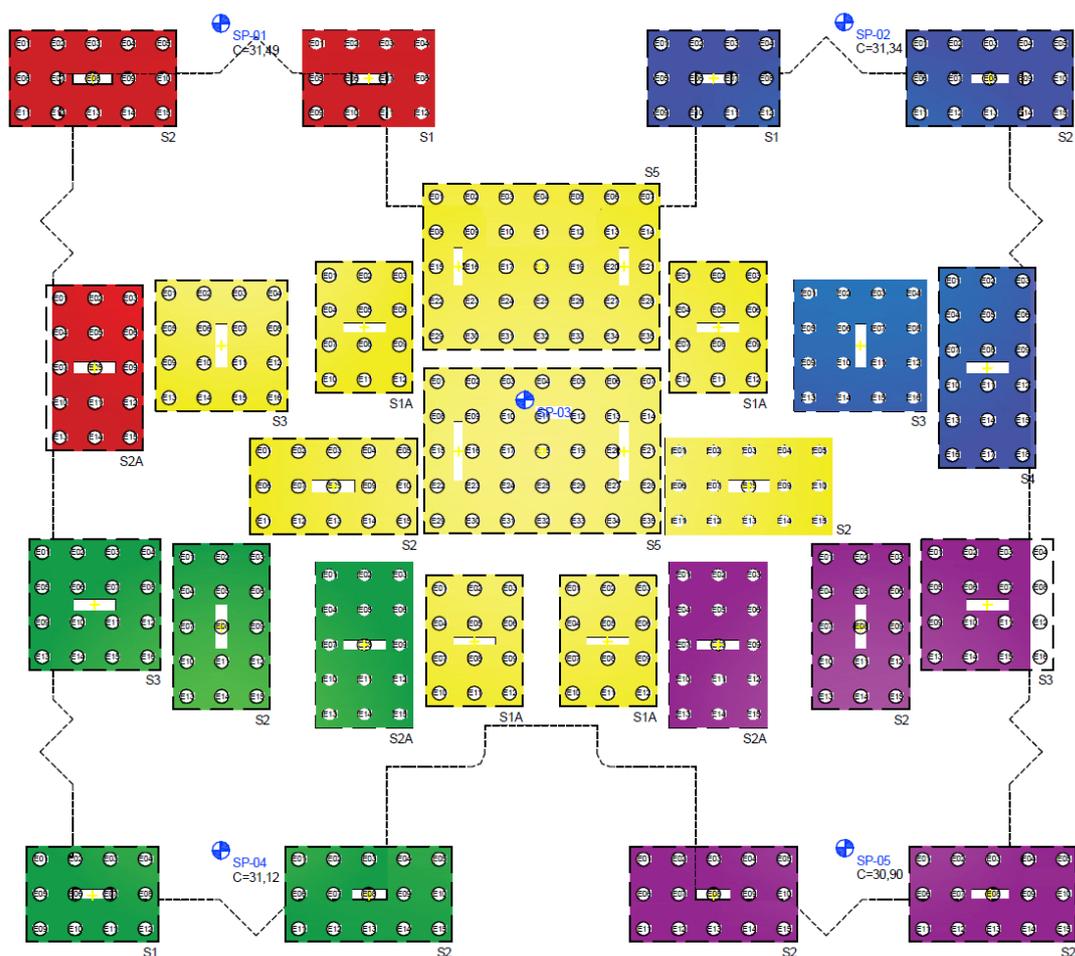
Figura 10 – Planta de estaqueamento



Fonte: Autor (2020)

A determinação da área de influência dos pontos de ensaio SPT em relação aos blocos de amarração das estacas foi determinado com base no ponto de ensaio mais próximo ao centro do bloco, Figura 11.

Figura 11 – Blocos de influência dos resultados de SPT.



Fonte: Autor (2020)

### 3.3 Previsão da Capacidade de Carga das Estacas

Com base nos relatórios de resistência dos perfis de solo de cada ponto de ensaio SPT, é elaborada uma planilha eletrônica automatizada de cálculo a fim de determinar a capacidade de carga via método Aoki-Velloso e a carga admissível normativa.

A metodologia aqui aplicada realiza o cálculo para cada metro de profundidade do subsolo, facilitando a adoção do comprimento da estaca, sendo tal comprimento limitado com base nas metodologias apresentadas no item 2.1.4 deste trabalho. A tabela contendo a capacidade de carga em função do diâmetro das estacas encontra-se disponível no Anexo B.

A elaboração do cálculo do estaqueamento metro a metro, considerando o diâmetro adotado para o cálculo, encontra-se disposto no Apêndice A.

Para início de cálculo foram utilizados os dados contidos na Tabela 4 considerando o caso aplicado à fundação do edifício. A Tabela 5 exemplifica a metodologia aplicada.

Tabela 4 – Dados iniciais para o cálculo da capacidade de carga

<b>Dados de Entrada</b>	
Tipo da estaca	Hélice Contínua
Diâmetro (cm)	30
Área da ponta (m <sup>2</sup> )	707
Perímetro (m)	94
F1	2
F2	4
Carga de catálogo (kN)	800

Fonte: Autor (2020)

Foram geradas tabelas semelhantes à Tabela 4 para cada um dos diferentes tipos de estacas, com a adição do item comprimento mínimo de estaca para as estacas Franki e pré-moldada.

A Tabela 5 apresenta o cálculo da capacidade de carga e carga admissível para as estacas hélice contínua de 30 cm de diâmetro, considerando a região de influência do ensaio SPT-1. A mesma metodologia foi aplicada ao cálculo da capacidade de carga e carga admissível das estacas Franki e pré-moldada, como também às estacas situadas nas regiões de influência dos outros ensaios SPT.

Dentre as sondagens SPT realizadas para o local a ser construído o edifício, rocha sã tendia a ser encontrada a partir da profundidade de 10 metros.

Tabela 5 – Cálculos da capacidade de carga e carga admissível para estaca de 30 cm de diâmetro, região de influência SPT1

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	25,66	174,9	200,61	32,07	100,30	32,07	3,21
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	4125	45,375	68,42	291,6	360,00	85,53	180,00	85,53	8,55
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	102,64	233,3	335,90	128,29	167,95	128,29	12,83
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	128,29	174,9	303,24	160,37	151,62	151,62	15,16
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2750	30,25	156,80	194,4	351,19	196,01	175,60	175,60	17,56
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	188,17	213,8	401,99	235,21	201,00	201,00	20,10
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	253,74	447,1	700,83	317,17	350,41	317,17	31,72
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	7425	81,675	330,72	524,8	855,56	413,39	427,78	413,39	41,34
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	404,84	505,4	910,25	506,05	455,12	455,12	45,51
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	470,41	447,1	917,50	588,02	458,75	458,75	45,88
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	581,60	758,1	1339,71	727,00	669,85	669,85	66,99

**LEGENDA**

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Fonte: Adaptado de Moreira (2019)

### 3.4 Aplicação da confiabilidade

Para o cálculo da confiabilidade estrutural foi utilizada a seguinte expressão disponível no software Excel, (CINTRA; AOKI, 2010):

$$p_f = 1 - \text{DIST.NORM}(\beta; 0; 1; \text{VERDADEIRO})$$

As curvas de probabilidade foram geradas a partir dos resultados provenientes da função acima aplicada a todos os valores do intervalo de solicitação e resistência.

Como verificação dos valores determinados para a probabilidade de falha, foi utilizado o software de confiabilidade estrutural Rt (*Reliability Tool*), responsável por calcular a probabilidade de falha via métodos FORM e Monte Carlo, uma vez tendo sido inseridos os tipos de curva das variáveis aleatórias, desvio padrão das curvas e médias.

O trabalho em questão está baseado em duas variáveis aleatórias: resistência e solicitação. Ambas variáveis são descritas por curvas do tipo normal.

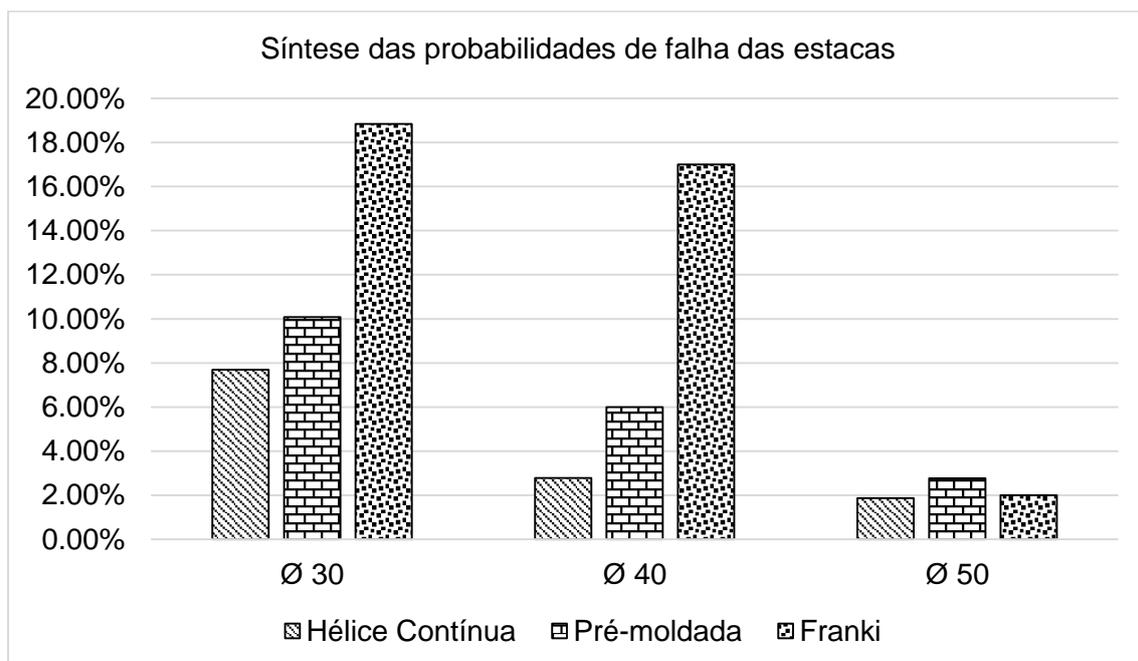
## 4. RESULTADO

### 4.1 Análise de Confiabilidade e Probabilidade de Ruína

A fim de preservar os dados de projeto da fundação do edifício, não foi do intento do autor alterar o número de estacas utilizadas em cada bloco de coroamento, conforme ilustrado anteriormente na Figura 10, limitando-se o mesmo à variações dos diâmetros das estacas com o objetivo de posteriores analogias.

O gráfico 1 apresenta a síntese das probabilidades de falhas obtidas para os três tipos de estacas considerando a variação dos diâmetros:

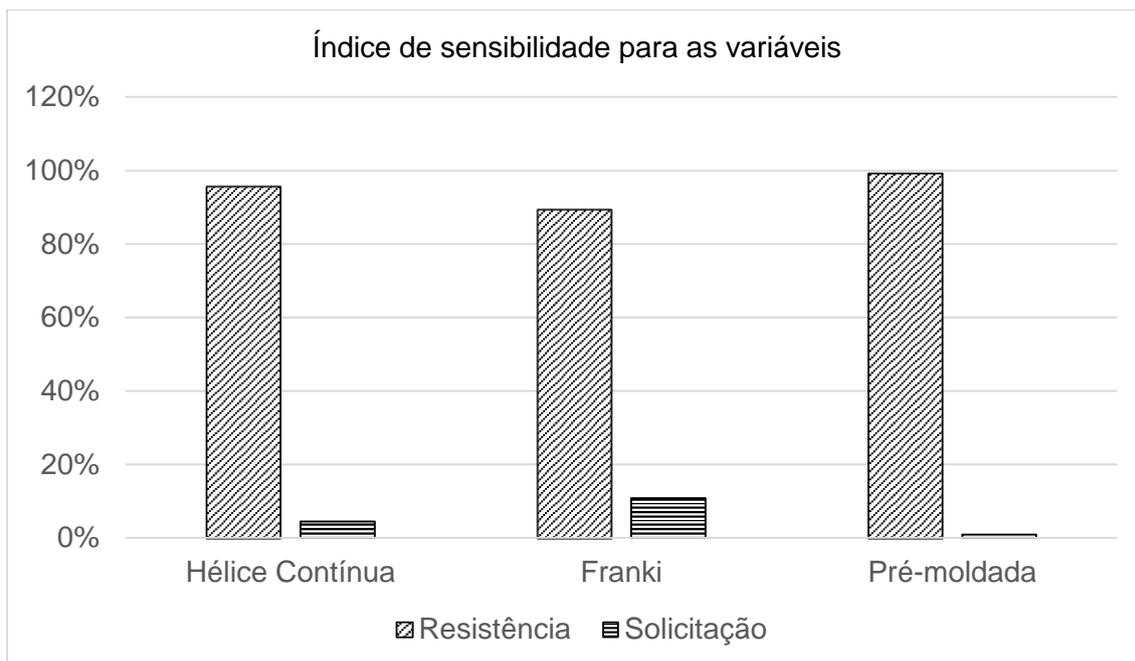
Gráfico 1 – Síntese das probabilidades de falhas



Fonte: Autor (2020)

O índice de sensibilidade gerado para as estacas Hélice contínua, pré-moldada e Franki, considerando as variáveis aleatórias de resistência e solicitação para diâmetros de 30 cm é ilustrado no Gráfico 2:

Gráfico 2 – Índice de sensibilidade para o caso das estacas de 30 cm de diâmetro



Fonte: Autor (2020)

A variável de resistência apresentou contribuição negativa, isto é, a favor da segurança, de 95,55%, 89,25% e 99,12% para as estacas tipo hélice contínua, Franki e pré-moldada, respectivamente. Quanto à variável de solicitação, o índice de confiabilidade foi de 4,45%, 10,75% e 0,88% para as estacas tipo hélice contínua, Franki e pré-moldada, respectivamente.

A Tabela 6 a seguir apresenta uma síntese dos dados utilizados no cálculo da probabilidade de falha para as estacas hélice contínua com 30 cm de diâmetro, bem como o resultado da análise de confiabilidade. A probabilidade de falha aqui obtida via aplicação do índice de confiabilidade de Cornell foi de, de 7,69%, está além das probabilidade máximas admissíveis pela literatura, Whitman (1984) estabelece risco admissível máximo de 1%.

Tabela 6 – Síntese da análise de confiabilidade, hélice contínua  $\varnothing 30$ 

Hélice contínua $\varnothing = 30$ cm	
Parâmetros	Valores
$R_{\text{médio}}$ (kN)	304,74
$\sigma_R$ (kN)	73,92
$V_R$	0,243
$S_{\text{médio}}$ (kN)	196,90
$\sigma_S$ (kN)	15,96
$V_S$	0,081
$Z_{\text{médio}}$	107,84
$\sigma_Z$ (kN)	75,63
$V_Z$	0,701
$\beta$	1,426
pf	7,694%
1/pf	12,996

Fonte: Autor (2020)

Para efeito de comparação, a partir das médias de resistência e solicitação ( $R_{\text{méd}}$  e  $S_{\text{méd}}$ ), seus respectivos valores de desvio padrão ( $\sigma_R$  e  $\sigma_S$ ) e modelo probabilístico, obteve-se a probabilidade de falha via *software* de análises probabilísticas *Risk Tools*, utilizando o método FORM (*First Order Reliability Method* – *Método de Confiabilidade de Primeira Ordem*) e simulação Monte Carlo, apresentados na Figura 12 e Figura 13, respectivamente:

Figura 12 – Análise de confiabilidade via FORM (hélice contínua)

```
The reliability index:
Beta = 1.42601

The probability of failure:
pf = 0.076932

##### FORM ANALYSIS DONE IN 0.09 SECONDS.
```

Fonte: Autor (2020)

Figura 13 – Análise de confiabilidade via simulação de Monte Carlo (hélice contínua)

```

The reliability index:
Beta = 1.42716

The probability of failure:
pf = 0.0767671

The coefficient of variation of sampling
CoV = 0.019996

The total number of samples = 30078

##### SAMPLING ANALYSIS DONE IN 194.328 SECONDS.

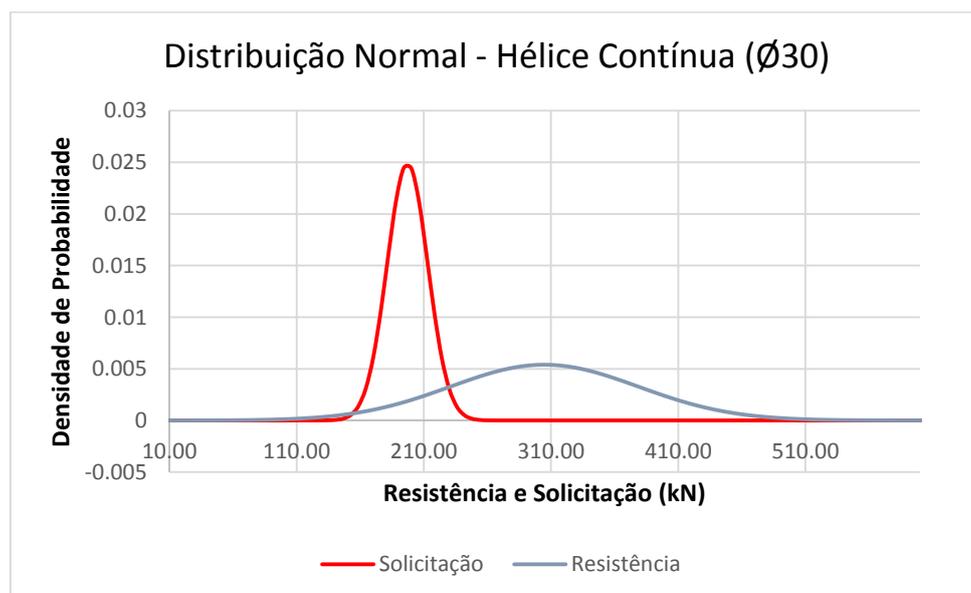
```

Fonte: Autor (2020)

É possível observar proximidade entre os valores de probabilidade de falha obtidos via método FORM (7,693%) e simulação Monte Carlo (7,67%) ao compará-los com método de aplicação do índice de Cornell (7,694%), também utilizado em Cintra e Aoki (2010).

O Gráfico 1 ilustra as curvas de distribuição normal de solicitação e resistência das estacas de tipo hélice contínua com diâmetro de 30 cm. A probabilidade de falha é dada pelo cálculo da área abaixo do ponto de intersecção das curvas.

Gráfico 3 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas, hélice contínua Ø30



Fonte: Autor (2020)

A Tabela 7 a seguir apresenta a síntese dos dados utilizados no cálculo da probabilidade de falha para as estacas tipo Franki com 30 cm de diâmetro, bem como o resultado da análise de confiabilidade. A probabilidade de falha aqui obtida via aplicação do índice de confiabilidade de Cornell foi de 18,85%, superior ao percentual de 7,69% obtido para a análise das estacas hélice contínua de mesmo diâmetro, e conseqüentemente está além das probabilidade máximas admissíveis pela literatura, Whitman (1984) o qual estabelece risco admissível máximo de 1%.

Tabela 7 – Síntese da análise de confiabilidade, Franki  $\varnothing$ 30

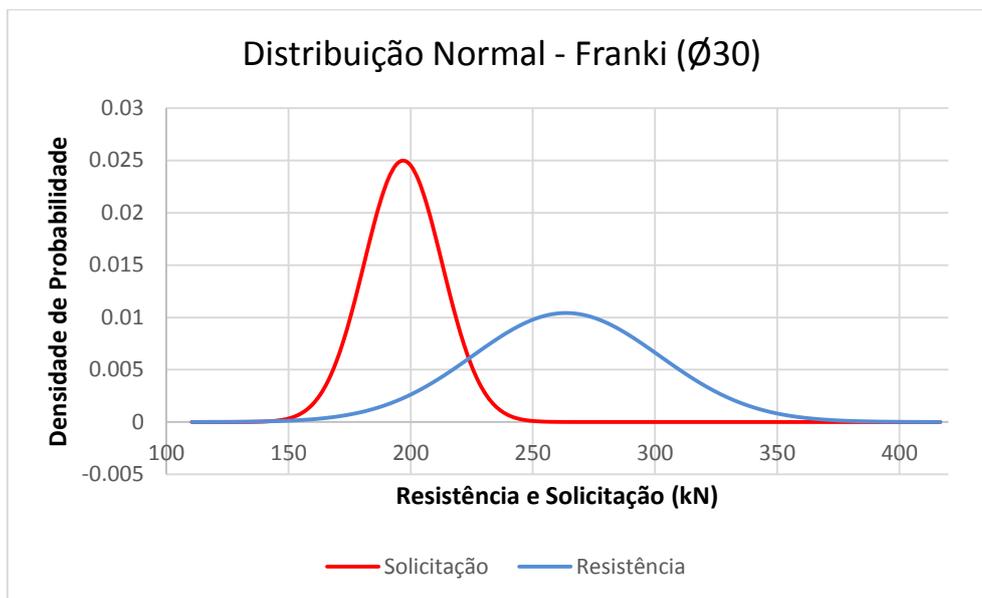
Franki $\varnothing$ = 30 cm	
Parâmetros	Valores
<b>R<sub>médio</sub> (kN)</b>	239,19
<b><math>\sigma_R</math> (kN)</b>	45,93
<b>V<sub>R</sub></b>	0,192
<b>S<sub>médio</sub> (kN)</b>	196,24
<b><math>\sigma_S</math> (kN)</b>	15,94
<b>V<sub>S</sub></b>	0,081
<b>Z<sub>médio</sub></b>	42,95
<b><math>\sigma_Z</math> (kN)</b>	48,62
<b>V<sub>Z</sub></b>	1,132
<b><math>\beta</math></b>	0,88
<b>pf</b>	18,851%
<b>1/pf</b>	5,305

Fonte: Autor (2020)

Semelhante à hélice contínua, também foi feita comparação utilizando o método FORM e simulação Monte Carlo. Novamente, foi possível observar proximidade entre os valores de probabilidade de falha obtidos via método FORM (18,831%) e simulação Monte Carlo (18,8 %) ao compará-los com o método Cintra e Aoki (2010), 18,85%.

O Gráfico 4 ilustra as curvas de distribuição normal de solicitação e resistência das estacas tipo Franki com diâmetro de 30 cm. O índice de confiabilidade ( $\beta$ ), conforme Tabela 7, é de 0,88, sendo este o valor médio da margem de segurança ( $Z_{méd}$ ) em termos de unidades do desvio padrão ( $\sigma_Z$ ).

Gráfico 4 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki  $\varnothing 30$



Fonte: Autor (2020)

Por fim, a Tabela 8 a seguir apresenta a síntese dos dados utilizados no cálculo da probabilidade de falha para as estacas tipo pré-moldada com 30 cm de diâmetro, bem como o resultado da análise de confiabilidade. A probabilidade de falha aqui obtida via aplicação do índice de confiabilidade de Cornell foi de 10% é inferior a 18,85% (Franki) e superior ao percentual de 7,7% das estacas tipo hélice contínua de mesmo diâmetro.

Tabela 8 – Síntese da análise de confiabilidade, Pré-moldada  $\varnothing 30$ 

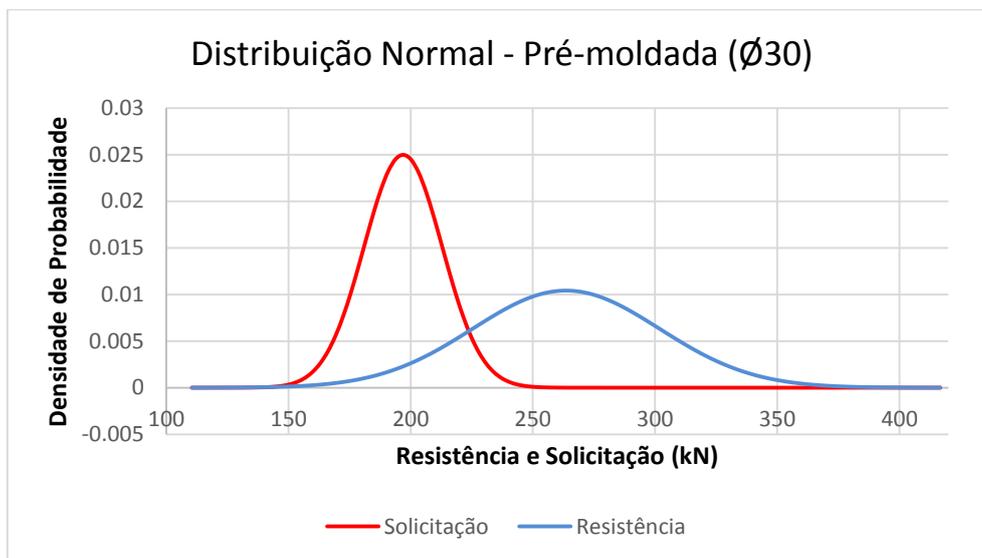
Pré-moldada $\varnothing = 30$ cm	
Parâmetros	Valores
$R_{\text{médio}}$ (kN)	417,83
$\sigma_R$ (kN)	172,05
$V_R$	0,412
$S_{\text{médio}}$ (kN)	197,14
$\sigma_S$ (kN)	16,04
$V_S$	0,081
$Z_{\text{médio}}$	220,69
$\sigma_Z$ (kN)	172,80
$V_Z$	0,783
$\beta$	1,277
pf	10,078%
1/pf	9,923

Fonte: Autor (2020)

Na sequência foi verificada a probabilidade de falha via método FORM e simulação Monte Carlo para o caso em questão. Foi possível observar proximidade entre os valores de probabilidade de falha obtidos via método FORM (10,08%) e simulação Monte Carlo (10,14 %) ao compará-los com o método Cintra e Aoki (2010), 10,08%, validando assim os resultados.

O Gráfico 5 ilustra as curvas de distribuição normal de solicitação e resistência das estacas tipo pré-moldada com diâmetro de 30 cm. O índice de confiabilidade ( $\beta$ ), conforme Tabela 8, é de 1,27, maior que  $\beta = 0,88$  para o caso das estacas tipo Franki, conseqüentemente resultando em menor probabilidade de falha, conforme comentado anteriormente.

Gráfico 5 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas pré-moldadas  $\varnothing 30$

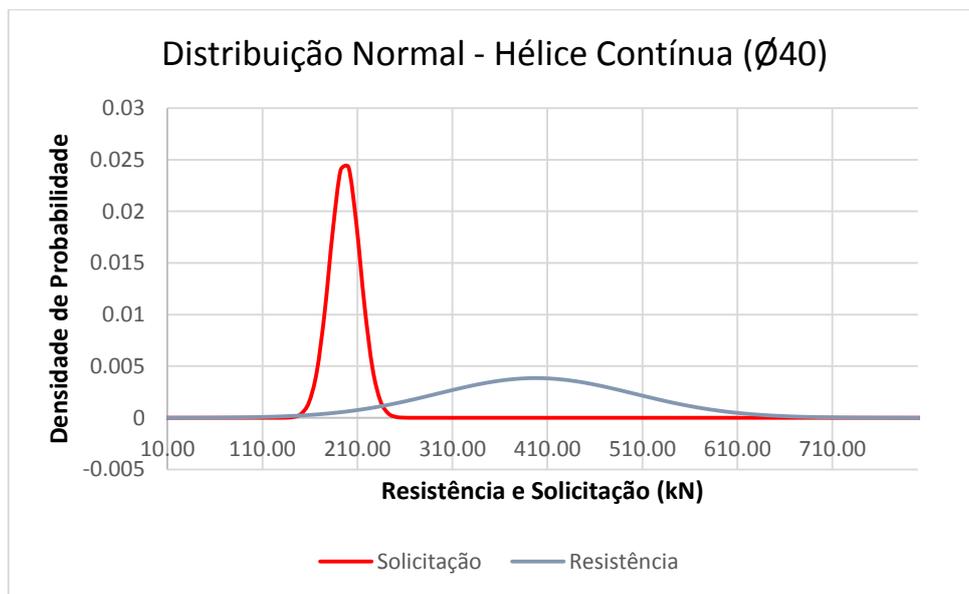


Fonte: Autor (2020)

#### 4.2 Confiabilidade ao Variar Diâmetros das Estacas Utilizadas

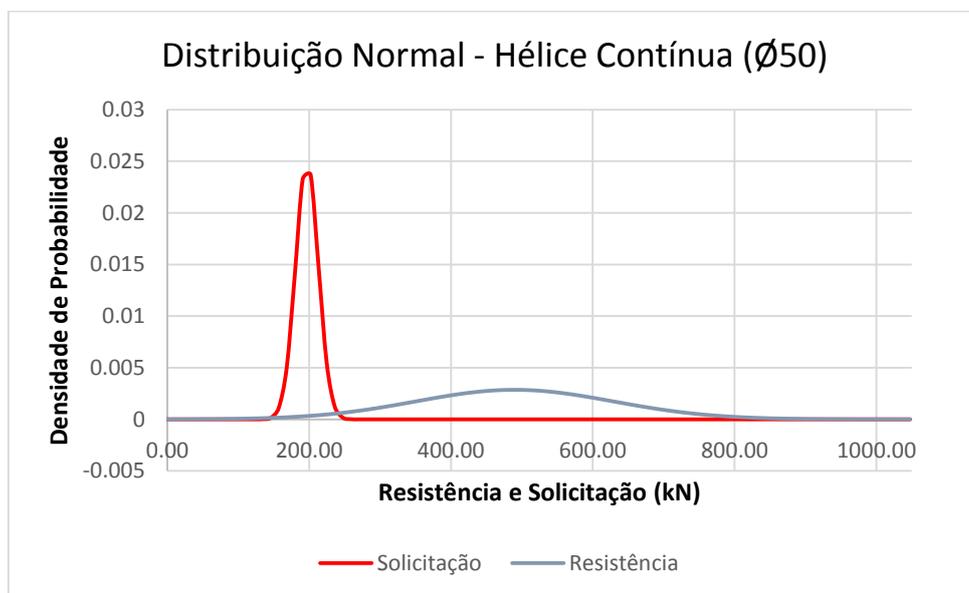
O Gráfico 6 e o Gráfico 7 a seguir apresentam as curvas de distribuição normal de solicitação e resistência das estacas tipo hélice contínua com diâmetro de 40 cm e 50 cm respectivamente:

Gráfico 6 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas hélice contínua Ø40



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 7 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas hélice contínua Ø50



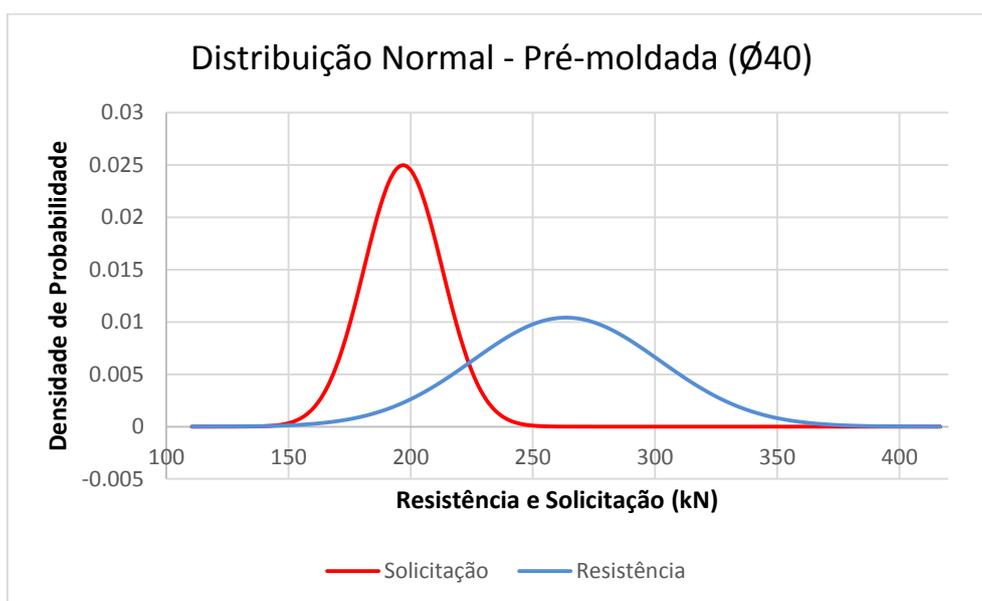
Fonte: Autor (2020)

Para as estacas tipo hélice contínua de 40 cm de diâmetro foi calculada probabilidade de falha de 2,784%, podendo-se afirmar que um aumento de aproximadamente 78% da área da seção resultou numa redução de 63,8% da probabilidade de falha da fundação.

As estacas de diâmetro equivalente à 50 cm resultaram em 1,86% de falha (o que ainda é maior que o percentual máximo de risco admissível pela literatura). O aumento de 177% na área da seção, isto é, a seção de 50 cm em relação à de 30 cm, resultou numa redução de 75,8% de falha.

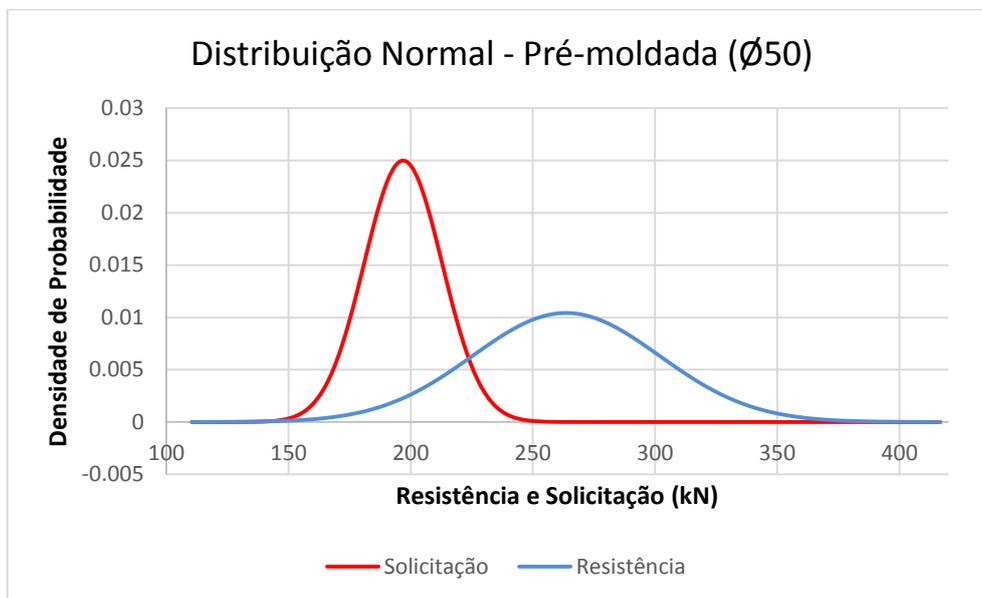
O Gráfico 8 e o Gráfico 9 a seguir apresentam as curvas de distribuição normal de solicação e resistência das estacas tipo pré-moldada com diâmetro de 40 cm e 50 cm respectivamente:

Gráfico 8 – Curvas de distribuição normal de solicação e resistência para as estacas pré-moldada  $\varnothing 40$



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 9 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Pré-moldada Ø50



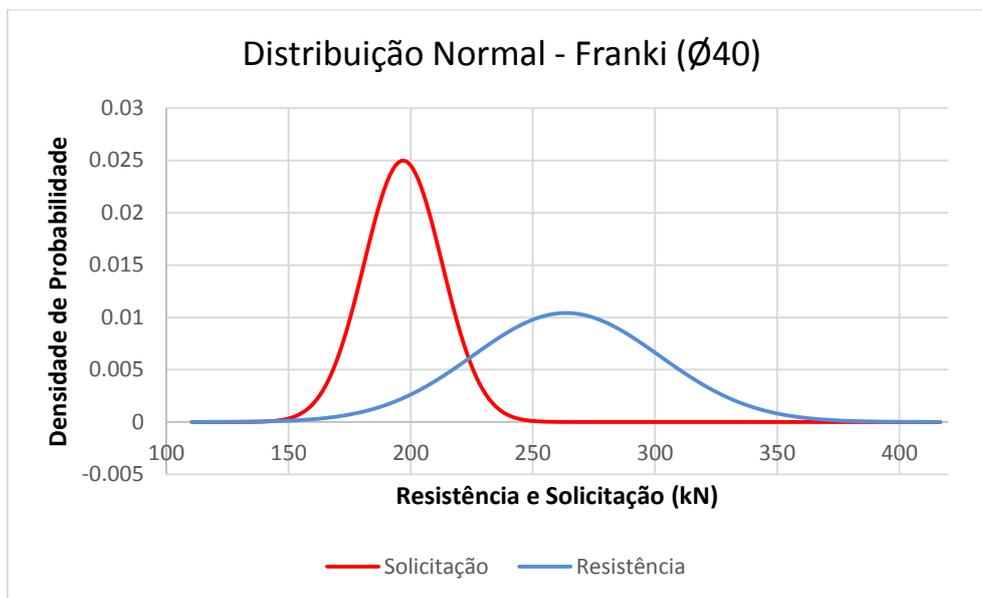
Fonte: Autor (2020)

Para as estacas tipo pré-moldadas de 40 cm de diâmetro foi calculada probabilidade de falha de 6%, podendo-se afirmar que um aumento de aproximadamente 70% da área da seção (em comparação com a seção inicialmente analisada de 30 cm de diâmetro) resultou numa redução de 40% da probabilidade de falha da fundação.

As estacas de diâmetro equivalente à 50 cm, por sua vez, resultaram em 2,76% de falha. O aumento de 177% na área da seção, isto é, a seção de 50 cm em relação às de 30 cm, resultou numa redução de 72,4% de falha.

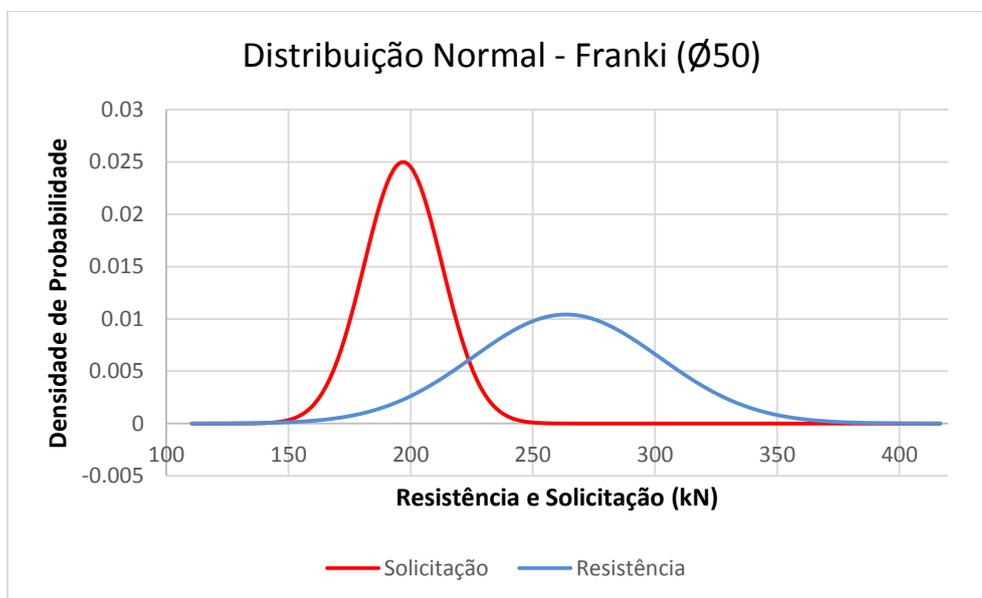
O Gráfico 10 e o Gráfico 11 a seguir apresentam as curvas de distribuição normal de solicitação e resistência das estacas tipo Franki com diâmetro de 40 cm e 50 cm respectivamente:

Gráfico 10 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki  $\varnothing 40$



Fonte: Autor (2020)

Gráfico 11 – Curvas de distribuição normal de solicitação e resistência para as estacas Franki  $\varnothing 50$



Fonte: Autor (2020)

Para as estacas tipo Franki de 40 cm de diâmetro foi calculada probabilidade de falha de 17%, podendo-se afirmar que um aumento de aproximadamente 70% da área da seção resultou numa redução de 9,8% da probabilidade de falha da fundação.

As estacas de diâmetro equivalente à 50 cm resultaram em 1,99% de falha (o que ainda é maior que o percentual máximo de risco admissível pela literatura). O aumento de 177% na área da seção, isto é, a seção de 50 cm em relação à de 30 cm, resultou numa redução de 89,44% de falha.

As Tabelas 9, 10 e 11 a seguir sintetizam os resultados referentes às probabilidades de falha e os índices de confiabilidade de cada tipo de estaca e diâmetro correspondente. Os valores pertinentes ao aumento da área da seção e redução da probabilidade de falha ( $P_f$ ) são calculados com base na área dada pelo diâmetro inicialmente analisado de 30 cm e sua probabilidade de falha, respectivamente.

É possível verificar que à medida que obtém-se índices de confiabilidade maiores, tem-se, por consequência, probabilidades de falha menores.

Tabela 9 – Resumo das relações entre a área da seção e  $P_f$ , estaca tipo hélice-contínua

<b>Estaca tipo Hélice Contínua</b>					
<b>Ø (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aumento da área da seção</b>	<b>P<sub>f</sub></b>	<b>Redução de P<sub>f</sub></b>	<b>β</b>
30	706,9	0%	7,69%	0%	1,426
40	1256,6	78%	2,78%	-63,8%	1,913
50	1963,5	178%	1,86%	-76%	2,08

Fonte: Autor (2020)

Tabela 10 – Resumo das relações entre a área da seção e Pf, estaca tipo pré-moldada

<b>Estaca tipo Pré-moldada</b>					
<b>Ø (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aumento da área da seção</b>	<b>Pf</b>	<b>Redução de Pf</b>	<b>β</b>
30	706,9	0%	10,08%	0%	1,277
40	1256,6	78%	6%	-40%	1,57
50	1963,5	178%	2,76%	-73%	1,92

Fonte: Autor (2020)

Tabela 11 – Resumo das relações entre a área da seção e Pf, estaca tipo Franki

<b>Estaca tipo Franki</b>					
<b>Ø (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Aumento da área da seção</b>	<b>Pf</b>	<b>Redução de Pf</b>	<b>β</b>
30	706,9	0%	18,85%	0%	0,88
40	1256,6	78%	17%	-9,8%	0,95
50	1963,5	178%	1,99%	-89,44%	2,05

Fonte: Autor (2020)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi responsável pelo cálculo das confiabilidade de falha de diferentes estacas (hélice contínua, Franki e pré-moldada) quando submetidas às solicitações axiais provenientes de um edifício de 14 pavimentos.

Nesta pesquisa pôde ser notado que as probabilidades de falha tendem a diminuir à medida que o diâmetro aumenta, no entanto, conforme notificado por Moreira (2019), não há um padrão exato para o aumento ou redução da probabilidade de falha com a alteração dos diâmetros.

Com base nos resultados, pôde-se concluir que para as estacas de 30 centímetros de diâmetro a que apresentou melhor confiabilidade foi o tipo hélice contínua, isto é, obteve a menor probabilidade de falha (7,7%). A estaca tipo Franki, por sua vez, obteve as maiores probabilidades de falha, em torno de 18,8%. É válido ressaltar que os diâmetros aqui considerados servem apenas como parâmetro de análise da confiabilidade da fundação, não correspondendo, portanto, aos diâmetros adotados em projeto real.

Conforme apresentado pelas Tabelas 9, 10 e 11 no item anterior, é possível notar que a confiabilidade final da fundação não é proporcionalmente em função do diâmetro das estacas. Isto pode ser explicado dado a variabilidade do perfil do solo, possuindo camadas de diferentes espessuras e diferentes resistências ao longo do corpo da estaca, considerando que os perfis do solo também variam da região de uma estaca para outra (a depender da área de influência do ensaio SPT). O tipo de estaca a ser utilizada também interfere na confiabilidade final, haja vista que os fatores de minoração  $F_1$  e  $F_2$  influem diretamente nos resultados, devendo-se aqui também incluir o número de estacas a serem ligadas ao bloco de coroamento, dentre outras variáveis.

Um argumento passível de justificar o comportamento da probabilidade de falha para os diferentes diâmetros analisados da estaca Franki é a resistência de ponta da referida estaca (obtida a partir da área da maior seção da base aproximadamente esférica).

Para o caso estudado é possível afirmar que dentre as estacas analisadas, a estaca tipo hélice contínua possui a maior confiabilidade, enquanto a estaca tipo Franki possui a maior probabilidade de falha.

Com a avaliação do estudo de caso proposto neste trabalho pode-se perceber que as curvas probabilísticas resistentes das estacas possuem maior variabilidade que as curvas de solicitação (Gráfico 2), oferecendo, portanto, maior contribuição no cálculo de probabilidade final. Também é possível afirmar que o aprofundamento deste estudo e prática da metodologia aqui utilizada pode contribuir na formulação de coeficientes de segurança menos conservadores e eficientes que os prescritos em normas.

A análise de confiabilidade nos projetos de fundação demonstra ser mais uma ferramenta para elaborar obras mais confiáveis e eficientes. A mesma análise também constata sua importância no desenvolvimento de planos emergenciais, contratação de seguros ou análise de risco de ruína em obras.

### 5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

A fim de estender a análise e estudo da confiabilidade em fundações, segue a sugestão para desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Calcular a confiabilidade estrutural considerando, e não considerando, a sobreposição de cargas provenientes dos momentos incidentes nas estacas e comparar os resultados;
- Analisar a confiabilidade das fundações considerando utilização de diâmetros de seção diferentes;
- Comparar a confiabilidade das fundações em solos de perfis heterogêneos e homogêneos.

## REFERÊNCIAS

ANG, A. H. S., TANG, W. H. **Probability concepts in engineering planning and design: decision, risk and reliability**. New York: John Wiley & Sons, 1984, v. 2.

AOKI, Nelson et al. **Determinação do índice de confiabilidade e da probabilidade de ruína de fundações em estacas: estudo de caso**. Associação Sul Americana de Engenharia Estrutural (ASAE). São Carlos: SGS, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR – 6484 Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR – 6122 Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2019.

BASTOS, Thiago Silva Costa de; **Análise da confiabilidade de projeto de fundação por estaca escavada, a partir de metodologia semiempírica aplicada em caso real de obra**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas (Campus Sertão), Delmiro Gouveia – AL, 2019.

BECK, André T.; **Curso de confiabilidade estrutural**. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de Estruturas), São Carlos – SP, 2014.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DAS, B. M.; SOBHAN, K. **Principles of Geotechnical Engineering**. Stamford, CT: Cengage Learning, 2014.

ERAZO, A. I. R. **Análise da confiabilidade de longarinas de pontes ferroviárias de concreto armado**. 128 p. Dissertação (Mestrado). Programa de pós graduação em Engenharia Civil da PUC-RIO. Rio de Janeiro, 2011.

FRANKI. **Catálogo de estacas Franki**. Olifantsfontein, África do Sul, 2014. Disponível em: < <https://issuu.com/mydocs/docs/franki/10> >; Acesso em 2/1/2020.

GEOFIX. **Hélice Contínua Monitorada**. Catálogo. Osasco, São Paulo. Junho, 2012.

PROTENDIT. **Estaca pré-moldada (de concreto)**. Catálogo. São Paulo, São Paulo. Dezembro, 2019.

MAHSULI, M. AND HAUKAAS, T.. **Computer program for multimodel reliability and optimization analysis**. Journal of Computing in Civil Engineering, 27(1), 87–98, 2013.

MOREIRA, Cecília Vieira; **Análise da confiabilidade de fundações por estaca do tipo hélice contínua através da previsão da capacidade de carga por métodos semi-empíricos**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas (Campus Sertão), Delmiro Gouveia – AL, 2019.

RICARDO, Alverlando Silva; **Análise da confiabilidade estrutural de elementos de aço em situação de incêndio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – SC, 2015.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, Fernanda Cristina da. **Análise de segurança e confiabilidade de fundações profundas em estacas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2003.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: fundações profundas**. V.2. Nova Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Cálculo da capacidade de carga das estacas hélice contínua, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	25,66	174,9	200,61	32,07	100,30	32,07	3,21
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	4125	45,375	68,42	291,6	360,00	85,53	180,00	85,53	8,55
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	102,64	233,3	335,90	128,29	167,95	128,29	12,83
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	128,29	174,9	303,24	160,37	151,62	151,62	15,16
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2750	30,25	156,80	194,4	351,19	196,01	175,60	175,60	17,56
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	188,17	213,8	401,99	235,21	201,00	201,00	20,10
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	253,74	447,1	700,83	317,17	350,41	317,17	31,72
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	7425	81,675	330,72	524,8	855,56	413,39	427,78	413,39	41,34
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	404,84	505,4	910,25	506,05	455,12	455,12	45,51
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	470,41	447,1	917,50	588,02	458,75	458,75	45,88
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	581,60	758,1	1339,71	727,00	669,85	669,85	66,99

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1035	17,595	16,58	73,2	89,74	20,73	44,87	20,73	2,07
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	38,69	97,5	136,24	48,37	68,12	48,37	4,84
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	1725	29,325	66,33	121,9	188,26	82,91	94,13	82,91	8,29
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	345	5,865	71,86	24,4	96,25	89,82	48,12	48,12	4,81
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	71,86	0,0	71,86	89,82	35,93	35,93	3,59
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	230	3,91	75,54	16,3	91,80	94,43	45,90	45,90	4,59
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	86,60	48,8	135,37	108,25	67,69	67,69	6,77
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	106,56	136,1	242,63	133,20	121,31	121,31	12,13
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	9900	108,9	209,19	699,8	908,98	261,49	454,49	261,49	26,15

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

.Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	550	6,05	5,70	38,9	44,58	7,13	22,29	7,13	0,71
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	17,11	77,8	94,86	21,38	47,43	21,38	2,14
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	28,51	77,8	106,26	35,64	53,13	35,64	3,56
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	42,76	97,2	139,96	53,46	69,98	53,46	5,35
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	53,82	48,8	102,59	67,28	51,30	51,30	5,13
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	805	13,685	66,72	56,9	123,62	83,40	61,81	61,81	6,18
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	77,77	48,8	126,55	97,22	63,27	63,27	6,33
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	2300	39,1	114,62	162,6	277,20	143,28	138,60	138,60	13,86
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	2185	37,145	149,63	154,4	304,08	187,04	152,04	152,04	15,20
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1955	33,235	180,96	138,2	319,15	226,19	159,57	159,57	15,96
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	203,07	97,5	300,61	253,83	150,31	150,31	15,03
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	12375	136,125	331,36	874,7	1206,10	414,20	603,05	414,20	41,42

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	875	10,5	9,90	61,9	71,75	12,37	35,87	12,37	1,24
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	660	13,2	22,34	46,7	68,99	27,92	34,49	27,92	2,79
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	880	17,6	38,92	62,2	101,13	48,66	50,56	48,66	4,87
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	990	19,8	57,59	70,0	127,56	71,98	63,78	63,78	6,38
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	550	11	67,95	38,9	106,83	84,94	53,41	53,41	5,34
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	79,36	77,8	157,11	99,20	78,56	78,56	7,86
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	93,61	97,2	190,80	117,01	95,40	95,40	9,54
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	127,82	233,3	361,09	159,78	180,54	159,78	15,98
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	201,95	505,4	707,35	252,44	353,68	252,44	25,24
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	8525	93,775	290,33	602,6	892,93	362,91	446,46	362,91	36,29
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	390,12	680,4	1070,47	487,64	535,23	487,64	48,76
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	9075	99,825	484,20	641,5	1125,67	605,25	562,84	562,84	56,28
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	595,39	758,1	1353,49	744,23	676,75	676,75	67,67
Silte Arenoso	1	15	42	0,55	2,2	23100	508,2	11550	127,05	715,13	816,4	1531,55	893,91	765,77	765,77	76,58

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	700	8,4	7,92	49,5	57,40	9,90	28,70	9,90	0,99
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2000	20	26,77	141,4	168,14	33,46	84,07	33,46	3,35
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	920	15,64	41,51	65,0	106,54	51,88	53,27	51,88	5,19
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	460	7,82	48,88	32,5	81,39	61,10	40,70	40,70	4,07
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	60,28	77,8	138,04	75,35	69,02	69,02	6,90
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	74,54	97,2	171,73	93,17	85,86	85,86	8,59
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	94,49	136,1	230,56	118,12	115,28	115,28	11,53
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1650	18,15	111,60	116,6	228,23	139,50	114,12	114,12	11,41
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	142,96	213,8	356,78	178,70	178,39	178,39	17,84
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	208,53	447,1	655,62	260,67	327,81	260,67	26,07
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	282,66	505,4	788,06	353,32	394,03	353,32	35,33
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	382,44	680,4	1062,79	478,05	531,40	478,05	47,81
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	493,63	758,1	1251,74	617,04	625,87	617,04	61,70
Silte Arenoso	1	15	44	0,55	2,2	24200	532,4	12100	133,1	619,08	855,3	1474,37	773,84	737,19	737,19	73,72

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	34,21	311,0	345,23	42,76	172,61	42,76	4,28
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	4125	45,375	91,23	518,4	609,59	114,04	304,80	114,04	11,40
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	136,85	414,7	551,54	171,06	275,77	171,06	17,11
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	171,06	311,0	482,08	213,82	241,04	213,82	21,38
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2750	30,25	209,07	345,6	554,65	261,34	277,32	261,34	26,13
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	250,89	380,1	631,02	313,61	315,51	313,61	31,36
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	338,32	794,8	1133,14	422,90	566,57	422,90	42,29
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	7425	81,675	440,95	933,1	1374,01	551,19	687,00	551,19	55,12
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	539,79	898,5	1438,28	674,74	719,14	674,74	67,47
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	627,22	794,8	1422,04	784,02	711,02	711,02	71,10
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	775,47	1347,7	2123,21	969,34	1061,61	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1035	17,595	22,11	130,1	152,17	27,64	76,09	27,64	2,76
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	51,59	173,4	225,01	64,49	112,50	64,49	6,45
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	1725	29,325	88,44	216,8	305,21	110,55	152,61	110,55	11,06
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	345	5,865	95,81	43,4	139,17	119,77	69,58	69,58	6,96
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	95,81	0,0	95,81	119,77	47,91	47,91	4,79
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	230	3,91	100,73	28,9	129,63	125,91	64,81	64,81	6,48
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	115,47	86,7	202,17	144,33	101,09	101,09	10,11
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	142,08	241,9	383,98	177,59	191,99	177,59	17,76
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	9900	108,9	278,92	1244,1	1522,99	348,65	761,50	348,65	34,87

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	550	6,05	7,60	69,1	76,72	9,50	38,36	9,50	0,95
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	22,81	138,2	161,04	28,51	80,52	28,51	2,85
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	38,01	138,2	176,24	47,52	88,12	47,52	4,75
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	57,02	172,8	229,81	71,27	114,90	71,27	7,13
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	71,76	86,7	158,47	89,70	79,23	79,23	7,92
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	805	13,685	88,96	101,2	190,12	111,20	95,06	95,06	9,51
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	103,70	86,7	190,41	129,62	95,20	95,20	9,52
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	2300	39,1	152,83	289,0	441,86	191,04	220,93	191,04	19,10
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	2185	37,145	199,51	274,6	474,09	249,39	237,04	237,04	23,70
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1955	33,235	241,27	245,7	486,95	301,59	243,47	243,47	24,35
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	270,76	173,4	444,17	338,44	222,09	222,09	22,21
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	12375	136,125	441,81	1555,1	1996,90	552,27	998,45	552,27	55,23

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	875	10,5	13,19	110,0	123,15	16,49	61,58	16,49	1,65
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	660	13,2	29,78	82,9	112,72	37,23	56,36	37,23	3,72
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	880	17,6	51,90	110,6	162,48	64,87	81,24	64,87	6,49
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	990	19,8	76,78	124,4	201,19	95,98	100,59	95,98	9,60
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	550	11	90,60	69,1	159,72	113,25	79,86	79,86	7,99
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	105,81	138,2	244,04	132,26	122,02	122,02	12,20
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	124,82	172,8	297,60	156,02	148,80	148,80	14,88
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	170,43	414,7	585,12	213,04	292,56	213,04	21,30
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	269,27	898,5	1167,76	336,58	583,88	336,58	33,66
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	8525	93,775	387,11	1071,3	1458,39	483,88	729,20	483,88	48,39
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	520,15	1209,5	1729,67	650,19	864,83	650,19	65,02
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	9075	99,825	645,60	1140,4	1786,00	807,00	893,00	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	793,85	1347,7	2141,59	992,31	1070,80	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	700	8,4	10,56	88,0	98,52	13,19	49,26	13,19	1,32
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2000	20	35,69	251,3	287,02	44,61	143,51	44,61	4,46
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	920	15,64	55,34	115,6	170,95	69,18	85,48	69,18	6,92
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	460	7,82	65,17	57,8	122,97	81,46	61,49	61,49	6,15
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	80,37	138,2	218,60	100,47	109,30	100,47	10,05
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	99,38	172,8	272,17	124,23	136,08	124,23	12,42
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	125,99	241,9	367,89	157,49	183,95	157,49	15,75
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1650	18,15	148,80	207,3	356,14	186,00	178,07	178,07	17,81
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	190,61	380,1	570,75	238,27	285,37	238,27	23,83
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	278,04	794,8	1072,87	347,55	536,43	347,55	34,76
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	376,88	898,5	1275,37	471,10	637,69	471,10	47,11
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	509,92	1209,5	1719,44	637,41	859,72	637,41	63,74
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	658,18	1347,7	2005,92	822,72	1002,96	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	42,76	486,0	528,73	53,46	264,37	53,46	5,35
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	4125	45,375	114,04	809,9	923,98	142,55	461,99	142,55	14,25
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	171,06	648,0	819,01	213,82	409,51	213,82	21,38
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	2475	27,225	213,82	486,0	699,79	267,28	349,89	267,28	26,73
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2750	30,25	261,34	540,0	801,30	326,68	400,65	326,68	32,67
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	313,61	594,0	907,57	392,01	453,78	392,01	39,20
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	422,90	1241,9	1664,81	528,62	832,40	528,62	52,86
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	7425	81,675	551,19	1457,9	2009,09	688,99	1004,54	688,99	68,90
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	674,74	1403,9	2078,63	843,42	1039,32	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	784,02	1241,9	2025,93	980,03	1012,97	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	969,34	2105,8	3075,19	1211,67	1537,59	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1035	17,595	27,64	203,2	230,86	34,55	115,43	34,55	3,45
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	64,49	271,0	335,45	80,61	167,73	80,61	8,06
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	1725	29,325	110,55	338,7	449,26	138,19	224,63	138,19	13,82
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	345	5,865	119,77	67,7	187,51	149,71	93,75	93,75	9,38
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	119,77	0,0	119,77	149,71	59,88	59,88	5,99
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	230	3,91	125,91	45,2	171,07	157,38	85,53	85,53	8,55
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	144,33	135,5	279,81	180,42	139,91	139,91	13,99
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	177,59	378,0	555,57	221,99	277,78	221,99	22,20
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	9900	108,9	348,65	1943,9	2292,51	435,82	1146,26	435,82	43,58

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	550	6,05	9,50	108,0	117,50	11,88	58,75	11,88	1,19
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	28,51	216,0	244,49	35,64	122,25	35,64	3,56
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	47,52	216,0	263,50	59,40	131,75	59,40	5,94
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	71,27	270,0	341,26	89,09	170,63	89,09	8,91
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	89,70	135,5	225,18	112,13	112,59	112,13	11,21
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	805	13,685	111,20	158,1	269,26	139,00	134,63	134,63	13,46
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	690	11,73	129,62	135,5	265,10	162,03	132,55	132,55	13,26
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	2300	39,1	191,04	451,6	642,64	238,80	321,32	238,80	23,88
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	2185	37,145	249,39	429,0	678,41	311,73	339,21	311,73	31,17
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1955	33,235	301,59	383,9	685,46	376,99	342,73	342,73	34,27
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1380	23,46	338,44	271,0	609,41	423,05	304,70	304,70	30,47
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	12375	136,125	552,27	2429,8	2982,09	690,34	1491,05	690,34	69,03

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	875	10,5	16,49	171,8	188,30	20,62	94,15	20,62	2,06
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	660	13,2	37,23	129,6	166,82	46,53	83,41	46,53	4,65
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	880	17,6	64,87	172,8	237,66	81,09	118,83	81,09	8,11
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	990	19,8	95,98	194,4	290,36	119,97	145,18	119,97	12,00
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	550	11	113,25	108,0	221,25	141,57	110,62	110,62	11,06
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	132,26	216,0	348,25	165,33	174,12	165,33	16,53
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	156,02	270,0	426,00	195,02	213,00	195,02	19,50
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	3300	36,3	213,04	648,0	860,99	266,30	430,50	266,30	26,63
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	336,58	1403,9	1740,48	420,73	870,24	420,73	42,07
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	8525	93,775	483,88	1673,9	2157,76	604,85	1078,88	604,85	60,49
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	650,19	1889,9	2540,06	812,74	1270,03	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	9075	99,825	807,00	1781,9	2588,87	1008,75	1294,43	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	992,31	2105,8	3098,16	1240,39	1549,08	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	700	8,4	13,19	137,4	150,64	16,49	75,32	16,49	1,65
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2000	20	44,61	392,7	437,31	55,76	218,65	55,76	5,58
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	920	15,64	69,18	180,6	249,82	86,47	124,91	86,47	8,65
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	460	7,82	81,46	90,3	171,78	101,83	85,89	85,89	8,59
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1100	12,1	100,47	216,0	316,45	125,59	158,23	125,59	12,56
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1375	15,125	124,23	270,0	394,21	155,28	197,10	155,28	15,53
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1925	21,175	157,49	378,0	535,46	196,86	267,73	196,86	19,69
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1650	18,15	186,00	324,0	509,97	232,50	254,99	232,50	23,25
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	3025	33,275	238,27	594,0	832,22	297,83	416,11	297,83	29,78
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	6325	69,575	347,55	1241,9	1589,47	434,44	794,73	434,44	43,44
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	7150	78,65	471,10	1403,9	1875,00	588,87	937,50	588,87	58,89
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	9625	105,875	637,41	1889,9	2527,27	796,76	1263,63	796,76	79,68
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	10725	117,975	822,72	2105,8	2928,57	1028,40	1464,28	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

APÊNDICE B – Cálculo da capacidade de carga das estacas pré-moldadas, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Capacidade de carga das estacas de 28 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	3666,667	40,33333	35,48	225,8	261,25	44,35	130,63	44,35	4,43
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	6111,111	67,22222	94,61	376,3	470,90	118,26	235,45	118,26	11,83
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	4888,889	53,77778	141,92	301,0	442,95	177,40	221,48	177,40	17,74
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	3666,667	40,33333	177,40	225,8	403,17	221,74	201,59	201,59	20,16
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	4074,074	44,81481	216,82	250,9	467,68	271,02	233,84	233,84	23,38
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	4481,481	49,2963	260,18	275,9	536,13	325,22	268,06	268,06	26,81
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	9370,37	103,0741	350,85	577,0	927,83	438,56	463,92	438,56	43,86
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	11000	121	457,29	677,3	1134,61	571,61	567,31	567,31	56,73
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	10592,59	116,5185	559,78	652,2	1212,02	699,73	606,01	606,01	60,60
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	9370,37	103,0741	650,45	577,0	1227,43	813,06	613,72	613,72	61,37
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	15888,89	174,7778	804,19	978,4	1782,55	1005,24	891,28	800,00	80,00

**LEGENDA**

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 28 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1533,333	26,06667	22,93	94,4	117,34	28,66	58,67	28,66	2,87
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	2044,444	34,75556	53,50	125,9	179,39	66,88	89,69	66,88	6,69
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	2555,556	43,44444	91,72	157,4	249,08	114,65	124,54	114,65	11,46
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	511,1111	8,688889	99,36	31,5	130,83	124,20	65,42	65,42	6,54
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	99,36	0,0	99,36	124,20	49,68	49,68	4,97
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	340,7407	5,792593	104,46	21,0	125,44	130,57	62,72	62,72	6,27
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	1022,222	17,37778	119,74	62,9	182,69	149,68	91,34	91,34	9,13
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	2851,852	31,37037	147,34	175,6	322,94	184,17	161,47	161,47	16,15
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	14666,67	161,3333	289,25	903,1	1192,36	361,57	596,18	361,57	36,16

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 28 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	814,8148	8,962963	7,88	50,2	58,06	9,86	29,03	9,86	0,99
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1629,63	17,92593	23,65	100,3	124,00	29,57	62,00	29,57	2,96
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1629,63	17,92593	39,42	100,3	139,77	49,28	69,88	49,28	4,93
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	2037,037	22,40741	59,13	125,4	184,56	73,91	92,28	73,91	7,39
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	1022,222	17,37778	74,42	62,9	137,36	93,02	68,68	68,68	6,87
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	1192,593	20,27407	92,25	73,4	165,69	115,32	82,84	82,84	8,28
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	1022,222	17,37778	107,54	62,9	170,48	134,42	85,24	85,24	8,52
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	3407,407	57,92593	158,49	209,8	368,30	198,12	184,15	184,15	18,42
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	3237,037	55,02963	206,90	199,3	406,22	258,62	203,11	203,11	20,31
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	2896,296	49,23704	250,21	178,3	428,55	312,76	214,28	214,28	21,43
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	2044,444	34,75556	280,78	125,9	406,67	350,98	203,34	203,34	20,33
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	18333,33	201,6667	458,18	1128,9	1587,06	572,72	793,53	572,72	57,27

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 28 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	1296,30	15,56	13,68	79,8	93,50	17,10	46,75	17,10	1,71
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	977,78	19,56	30,89	60,2	91,09	38,61	45,55	38,61	3,86
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	1303,70	26,07	53,82	80,3	134,10	67,28	67,05	67,05	6,70
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	1466,67	29,33	79,62	90,3	169,93	99,53	84,97	84,97	8,50
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	814,81	16,30	93,96	50,2	144,13	117,45	72,07	72,07	7,21
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1629,63	17,93	109,73	100,3	210,07	137,16	105,04	105,04	10,50
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	2037,04	22,41	129,44	125,4	254,87	161,80	127,43	127,43	12,74
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	4888,89	53,78	176,74	301,0	477,78	220,93	238,89	220,93	22,09
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	10592,59	116,52	279,24	652,2	931,48	349,05	465,74	349,05	34,90
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	12629,63	138,93	401,44	777,7	1179,12	501,81	589,56	501,81	50,18
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	14259,26	156,85	539,42	878,0	1417,44	674,27	708,72	674,27	67,43
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	13444,44	147,89	669,51	827,8	1497,35	836,89	748,68	748,68	74,87
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	15888,89	174,78	823,25	978,4	1801,61	1029,06	900,81	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	15	42	0,55	2,2	23100	508,2	17111,11	188,22	988,82	1053,6	2042,44	1236,02	1021,22	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 28 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	1037,04	12,44	10,95	63,9	74,80	13,68	37,40	13,68	1,37
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2962,96	29,63	37,01	182,4	219,46	46,26	109,73	46,26	4,63
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	1362,96	23,17	57,39	83,9	141,32	71,74	70,66	70,66	7,07
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	681,48	11,59	67,58	42,0	109,55	84,48	54,77	54,77	5,48
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1629,63	17,93	83,35	100,3	183,70	104,19	91,85	91,85	9,18
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	2037,04	22,41	103,06	125,4	228,49	128,83	114,25	114,25	11,42
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	2851,85	31,37	130,66	175,6	306,26	163,32	153,13	153,13	15,31
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	2444,44	26,89	154,31	150,5	304,83	192,89	152,41	152,41	15,24
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	4481,48	49,30	197,67	275,9	473,62	247,09	236,81	236,81	23,68
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	9370,37	103,07	288,34	577,0	865,32	360,43	432,66	360,43	36,04
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	10592,59	116,52	390,84	652,2	1043,08	488,55	521,54	488,55	48,85
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	14259,26	156,85	528,81	878,0	1406,83	661,01	703,41	661,01	66,10
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	15888,89	174,78	682,55	978,4	1660,91	853,19	830,46	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	15	44	0,55	2,2	24200	532,4	17925,93	197,19	856,01	1103,8	1959,80	1070,01	979,90	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 38 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	3355,932	36,91525	44,07	380,6	424,67	55,09	212,34	55,09	5,51
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	5593,22	61,52542	117,52	634,3	751,85	146,90	375,93	146,90	14,69
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	4474,576	49,22034	176,28	507,5	683,75	220,35	341,87	220,35	22,03
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	3355,932	36,91525	220,35	380,6	600,95	275,44	300,47	275,44	27,54
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	3728,814	41,01695	269,31	422,9	692,20	336,64	346,10	336,64	33,66
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	4101,695	45,11864	323,18	465,2	788,36	403,97	394,18	394,18	39,42
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	8576,271	94,33898	435,80	972,6	1408,45	544,75	704,22	544,75	54,47
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	10067,8	110,7458	568,01	1141,8	1709,81	710,01	854,91	710,01	71,00
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	9694,915	106,6441	695,32	1099,5	1794,84	869,15	897,42	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	8576,271	94,33898	807,94	972,6	1780,59	1009,93	890,30	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	14542,37	159,9661	998,91	1649,3	2648,18	1248,64	1324,09	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 38 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1403,39	23,85763	28,48	159,2	187,64	35,60	93,82	35,60	3,56
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1871,186	31,81017	66,46	212,2	278,67	83,07	139,34	83,07	8,31
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	2338,983	39,76271	113,93	265,3	379,19	142,41	189,60	142,41	14,24
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	467,7966	7,952542	123,42	53,1	176,47	154,27	88,24	88,24	8,82
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	123,42	0,0	123,42	154,27	61,71	61,71	6,17
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	311,8644	5,301695	129,75	35,4	165,12	162,19	82,56	82,56	8,26
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	935,5932	15,90508	148,74	106,1	254,84	185,92	127,42	127,42	12,74
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	2610,169	28,71186	183,01	296,0	479,04	228,77	239,52	228,77	22,88
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	13423,73	147,661	359,29	1522,4	1881,70	449,11	940,85	449,11	44,91

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 38 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	745,7627	8,20339	9,79	84,6	94,37	12,24	47,19	12,24	1,22
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1491,525	16,40678	29,38	169,2	198,54	36,72	99,27	36,72	3,67
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1491,525	16,40678	48,97	169,2	218,12	61,21	109,06	61,21	6,12
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1864,407	20,50847	73,45	211,4	284,89	91,81	142,45	91,81	9,18
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	935,5932	15,90508	92,44	106,1	198,54	115,55	99,27	99,27	9,93
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	1091,525	18,55593	114,59	123,8	238,38	143,24	119,19	119,19	11,92
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	935,5932	15,90508	133,58	106,1	239,68	166,97	119,84	119,84	11,98
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	3118,644	53,01695	196,87	353,7	550,56	246,09	275,28	246,09	24,61
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	2962,712	50,3661	257,00	336,0	593,00	321,24	296,50	296,50	29,65
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	2650,847	45,06441	310,79	300,6	611,43	388,49	305,72	305,72	30,57
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1871,186	31,81017	348,77	212,2	560,98	435,96	280,49	280,49	28,05
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	16779,66	184,5763	569,12	1903,0	2472,12	711,40	1236,06	711,40	71,14

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 38 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	1186,441	14,23729	17,00	134,6	151,55	21,25	75,78	21,25	2,12
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	894,9153	17,89831	38,36	101,5	139,86	47,95	69,93	47,95	4,80
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	1193,22	23,86441	66,85	135,3	202,18	83,57	101,09	83,57	8,36
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	1342,373	26,84746	98,90	152,2	251,14	123,63	125,57	123,63	12,36
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	745,7627	14,91525	116,71	84,6	201,29	145,89	100,64	100,64	10,06
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1491,525	16,40678	136,30	169,2	305,45	170,37	152,73	152,73	15,27
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1864,407	20,50847	160,78	211,4	372,22	200,97	186,11	186,11	18,61
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	4474,576	49,22034	219,54	507,5	727,01	274,42	363,50	274,42	27,44
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	9694,915	106,6441	346,85	1099,5	1446,37	433,56	723,18	433,56	43,36
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	11559,32	127,1525	498,65	1311,0	1809,61	623,31	904,80	623,31	62,33
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	13050,85	143,5593	670,03	1480,1	2150,14	837,54	1075,07	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	12305,08	135,3559	831,62	1395,5	2227,15	1039,52	1113,58	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	14542,37	159,9661	1022,59	1649,3	2671,86	1278,23	1335,93	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 38 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	949,1525	11,38983	13,60	107,6	121,24	17,00	60,62	17,00	1,70
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2711,864	27,11864	45,97	307,6	353,53	57,46	176,76	57,46	5,75
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	1247,458	21,20678	71,29	141,5	212,76	89,11	106,38	89,11	8,91
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	623,7288	10,60339	83,95	70,7	154,68	104,93	77,34	77,34	7,73
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1491,525	16,40678	103,53	169,2	272,69	129,42	136,34	129,42	12,94
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1864,407	20,50847	128,02	211,4	339,46	160,02	169,73	160,02	16,00
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	2610,169	28,71186	162,29	296,0	458,32	202,87	229,16	202,87	20,29
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	2237,288	24,61017	191,67	253,7	445,41	239,59	222,70	222,70	22,27
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	4101,695	45,11864	245,54	465,2	710,71	306,92	355,36	306,92	30,69
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	8576,271	94,33898	358,16	972,6	1330,81	447,70	665,40	447,70	44,77
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	9694,915	106,6441	485,47	1099,5	1584,98	606,84	792,49	606,84	60,68
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	13050,85	143,5593	656,85	1480,1	2136,97	821,06	1068,48	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	14542,37	159,9661	847,82	1649,3	2497,09	1059,78	1248,55	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	3046,154	33,50769	52,63	598,1	650,74	65,79	325,37	65,79	6,58
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	5076,923	55,84615	140,36	996,9	1137,21	175,45	568,60	175,45	17,54
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	4061,538	44,67692	210,54	797,5	1008,02	263,17	504,01	263,17	26,32
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	3046,154	33,50769	263,17	598,1	861,28	328,96	430,64	328,96	32,90
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	3384,615	37,23077	321,65	664,6	986,22	402,06	493,11	402,06	40,21
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	3723,077	40,95385	385,98	731,0	1117,01	482,48	558,50	482,48	48,25
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	7784,615	85,63077	520,49	1528,5	2049,00	650,61	1024,50	650,61	65,06
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	9138,462	100,5231	678,39	1794,3	2472,72	847,99	1236,36	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	8800	96,8	830,44	1727,9	2558,32	1038,05	1279,16	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	7784,615	85,63077	964,95	1528,5	2493,46	1206,19	1246,73	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	13200	145,2	1193,03	2591,8	3784,85	1491,29	1892,42	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	1273,846	21,65538	34,02	250,1	284,14	42,52	142,07	42,52	4,25
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1698,462	28,87385	79,37	333,5	412,86	99,21	206,43	99,21	9,92
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	2123,077	36,09231	136,06	416,9	552,93	170,08	276,46	170,08	17,01
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	424,6154	7,218462	147,40	83,4	230,78	184,25	115,39	115,39	11,54
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	147,40	0,0	147,40	184,25	73,70	73,70	7,37
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	283,0769	4,812308	154,96	55,6	210,54	193,70	105,27	105,27	10,53
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	849,2308	14,43692	177,64	166,7	344,39	222,05	172,19	172,19	17,22
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	2369,231	26,06154	218,58	465,2	683,77	273,22	341,89	273,22	27,32
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	12184,62	134,0308	429,11	2392,4	2821,56	536,39	1410,78	536,39	53,64

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	676,9231	7,446154	11,70	132,9	144,61	14,62	72,30	14,62	1,46
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	1353,846	14,89231	35,09	265,8	300,92	43,86	150,46	43,86	4,39
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	1353,846	14,89231	58,48	265,8	324,31	73,10	162,15	73,10	7,31
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1692,308	18,61538	87,72	332,3	420,01	109,65	210,00	109,65	10,97
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	849,2308	14,43692	110,40	166,7	277,15	138,00	138,57	138,00	13,80
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	990,7692	16,84308	136,86	194,5	331,39	171,07	165,70	165,70	16,57
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	849,2308	14,43692	159,53	166,7	326,28	199,42	163,14	163,14	16,31
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	2830,769	48,12308	235,13	555,8	790,95	293,91	395,47	293,91	29,39
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	2689,231	45,71692	306,94	528,0	834,97	383,67	417,48	383,67	38,37
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	2406,154	40,90462	371,19	472,4	843,64	463,99	421,82	421,82	42,18
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1698,462	28,87385	416,55	333,5	750,04	520,68	375,02	375,02	37,50
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	15230,77	167,5385	679,71	2990,6	3670,27	849,64	1835,13	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	1076,923	12,92308	20,30	211,5	231,75	25,37	115,88	25,37	2,54
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	812,3077	16,24615	45,82	159,5	205,32	57,27	102,66	57,27	5,73
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	1083,077	21,66154	79,84	212,7	292,51	99,81	146,25	99,81	9,98
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	1218,462	24,36923	118,12	239,2	357,37	147,65	178,68	147,65	14,77
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	676,9231	13,53846	139,39	132,9	272,30	174,24	136,15	136,15	13,62
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	1353,846	14,89231	162,78	265,8	428,61	203,48	214,30	203,48	20,35
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1692,308	18,61538	192,02	332,3	524,31	240,03	262,15	240,03	24,00
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	4061,538	44,67692	262,20	797,5	1059,68	327,75	529,84	327,75	32,78
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	8800	96,8	414,26	1727,9	2142,13	517,82	1071,07	517,82	51,78
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	10492,31	115,4154	595,55	2060,2	2655,71	744,44	1327,85	744,44	74,44
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	11846,15	130,3077	800,24	2326,0	3126,22	1000,30	1563,11	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	11169,23	122,8615	993,23	2193,1	3186,30	1241,53	1593,15	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	13200	145,2	1221,31	2591,8	3813,12	1526,63	1906,56	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_P$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	861,5385	10,33846	16,24	169,2	185,40	20,30	92,70	20,30	2,03
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	2461,538	24,61538	54,91	483,3	538,23	68,63	269,11	68,63	6,86
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	1132,308	19,24923	85,14	222,3	307,47	106,43	153,74	106,43	10,64
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	566,1538	9,624615	100,26	111,2	211,42	125,33	105,71	105,71	10,57
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	1353,846	14,89231	123,65	265,8	389,48	154,57	194,74	154,57	15,46
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1692,308	18,61538	152,89	332,3	485,18	191,12	242,59	191,12	19,11
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	2369,231	26,06154	193,83	465,2	659,03	242,29	329,51	242,29	24,23
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	2030,769	22,33846	228,92	398,7	627,66	286,15	313,83	286,15	28,62
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	3723,077	40,95385	293,25	731,0	1024,28	366,56	512,14	366,56	36,66
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	7784,615	85,63077	427,76	1528,5	1956,26	534,70	978,13	534,70	53,47
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	8800	96,8	579,81	1727,9	2307,69	724,77	1153,84	724,77	72,48
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	11846,15	130,3077	784,50	2326,0	3110,49	980,62	1555,24	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	13200	145,2	1012,58	2591,8	3604,39	1265,72	1802,20	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

APÊNDICE C – Cálculo da capacidade de carga das estacas Franki, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	20,53	763,1	783,67	25,66	391,83	25,66	2,57
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	3300	36,3	54,74	1271,9	1326,64	68,42	663,32	68,42	6,84
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	82,11	1017,5	1099,63	102,64	549,81	102,64	10,26
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	102,64	763,1	865,78	128,29	432,89	128,29	12,83
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2200	24,2	125,44	847,9	973,38	156,80	486,69	156,80	15,68
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	150,53	932,7	1083,26	188,17	541,63	188,17	18,82
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	202,99	1950,2	2153,24	253,74	1076,62	253,74	25,37
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	5940	65,34	264,57	2289,4	2553,99	330,72	1277,00	330,72	33,07
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	323,87	2204,6	2528,50	404,84	1264,25	404,84	40,48
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	376,33	1950,2	2326,58	470,41	1163,29	470,41	47,04
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	465,28	3306,9	3772,22	581,60	1886,11	581,60	58,16

**LEGENDA**

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	828	14,076	13,27	319,1	332,40	16,58	166,20	16,58	1,66
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1104	18,768	30,95	425,5	456,46	38,69	228,23	38,69	3,87
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	1380	23,46	53,07	531,9	584,95	66,33	292,48	66,33	6,63
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	276	4,692	57,49	106,4	163,86	71,86	81,93	71,86	7,19
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	57,49	0,0	57,49	71,86	28,74	28,74	2,87
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	184	3,128	60,44	70,9	131,35	75,54	65,68	65,68	6,57
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	69,28	212,8	282,03	86,60	141,02	86,60	8,66
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	1540	16,94	85,25	593,6	678,80	106,56	339,40	106,56	10,66
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	7920	87,12	167,35	3052,6	3219,91	209,19	1609,96	209,19	20,92

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	440	4,84	4,56	169,6	174,15	5,70	87,07	5,70	0,57
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	13,68	339,2	352,86	17,11	176,43	17,11	1,71
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	22,81	339,2	361,98	28,51	180,99	28,51	2,85
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,10	34,21	424,0	458,18	42,76	229,09	42,76	4,28
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,38	43,06	212,8	255,81	53,82	127,91	53,82	5,38
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	644	10,95	53,37	248,2	301,59	66,72	150,79	66,72	6,67
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,38	62,22	212,8	274,97	77,77	137,49	77,77	7,78
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	1840	31,28	91,70	709,2	800,88	114,62	400,44	114,62	11,46
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	1748	29,72	119,71	673,7	793,43	149,63	396,71	149,63	14,96
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1564	26,59	144,76	602,8	747,57	180,96	373,78	180,96	18,10
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1104	18,77	162,45	425,5	587,96	203,07	293,98	203,07	20,31
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	9900	108,90	265,09	3815,7	4080,79	331,36	2040,39	331,36	33,14

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha(\%)$	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	700	8,4	7,92	269,8	277,71	9,90	138,86	9,90	0,99
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	528	10,56	17,87	203,5	221,37	22,34	110,69	22,34	2,23
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	704	14,08	31,14	271,3	302,48	38,92	151,24	38,92	3,89
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	792	15,84	46,07	305,3	351,32	57,59	175,66	57,59	5,76
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	440	8,8	54,36	169,6	223,95	67,95	111,97	67,95	6,80
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	63,49	339,2	402,66	79,36	201,33	79,36	7,94
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	74,89	424,0	498,86	93,61	249,43	93,61	9,36
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	102,26	1017,5	1119,78	127,82	559,89	127,82	12,78
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	161,56	2204,6	2366,19	201,95	1183,09	201,95	20,19
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	6820	75,02	232,26	2628,6	2860,86	290,33	1430,43	290,33	29,03
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	312,09	2967,8	3279,86	390,12	1639,93	390,12	39,01
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	7260	79,86	387,36	2798,2	3185,54	484,20	1592,77	484,20	48,42
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	476,31	3306,9	3783,25	595,39	1891,63	595,39	59,54
Silte Arenoso	1	15	42	0,55	2,2	23100	508,2	9240	101,64	572,10	3561,3	4133,42	715,13	2066,71	715,13	71,51

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 30 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	560	6,72	6,33	215,8	222,17	7,92	111,09	7,92	0,79
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	1600	16	21,41	616,7	638,09	26,77	319,05	26,77	2,68
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	736	12,512	33,21	283,7	316,88	41,51	158,44	41,51	4,15
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	368	6,256	39,10	141,8	180,94	48,88	90,47	48,88	4,89
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	48,22	339,2	387,40	60,28	193,70	60,28	6,03
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	59,63	424,0	483,60	74,54	241,80	74,54	7,45
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1540	16,94	75,59	593,6	669,15	94,49	334,57	94,49	9,45
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1320	14,52	89,28	508,8	598,04	111,60	299,02	111,60	11,16
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	114,37	932,7	1047,09	142,96	523,55	142,96	14,30
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	166,83	1950,2	2117,07	208,53	1058,54	208,53	20,85
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	226,13	2204,6	2430,75	282,66	1215,38	282,66	28,27
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	305,95	2967,8	3273,72	382,44	1636,86	382,44	38,24
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	394,91	3306,9	3701,85	493,63	1850,92	493,63	49,36
Silte Arenoso	1	15	44	0,55	2,2	24200	532,4	9680	106,48	495,26	3730,9	4226,17	619,08	2113,08	619,08	61,91

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	27,37	1211,4	1238,78	34,21	619,39	34,21	3,42
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	3300	36,3	72,99	2019,0	2092,00	91,23	1046,00	91,23	9,12
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	109,48	1615,2	1724,69	136,85	862,35	136,85	13,68
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	136,85	1211,4	1348,26	171,06	674,13	171,06	17,11
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2200	24,2	167,26	1346,0	1513,27	209,07	756,63	209,07	20,91
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	200,71	1480,6	1681,32	250,89	840,66	250,89	25,09
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	270,65	3095,8	3366,48	338,32	1683,24	338,32	33,83
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	5940	65,34	352,76	3634,2	3986,99	440,95	1993,50	440,95	44,10
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	431,83	3499,6	3931,46	539,79	1965,73	539,79	53,98
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	501,78	3095,8	3597,60	627,22	1798,80	627,22	62,72
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	620,38	5249,4	5869,82	775,47	2934,91	775,47	77,55

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	3,4	3,4	30600	1040,4	12240	208,08	261,48	7488,7	7750,19	326,85	3875,10	326,85	32,69
Silte Argiloso	1	3	12	3,4	3,4	40800	1387,2	16320	277,44	610,12	9985,0	10595,07	762,65	5297,54	762,65	76,27
Silte Argiloso	1	4	15	3,4	3,4	51000	1734	20400	346,8	1045,92	12481,2	13527,11	1307,41	6763,56	800,00	80,00
Silte Argiloso	1	5	3	3,4	3,4	10200	346,8	4080	69,36	1133,08	2496,2	3629,32	1416,36	1814,66	800,00	80,00
Silte Argiloso	1	6	0	3,4	3,4	0	0	0	0	1133,08	0,0	1133,08	1416,36	566,54	566,54	56,65
Silte Argiloso	1	7	2	3,4	3,4	6800	231,2	2720	46,24	1191,19	1664,2	2855,35	1488,99	1427,67	800,00	80,00
Silte Argiloso	1	8	6	3,4	3,4	20400	693,6	8160	138,72	1365,51	4992,5	6357,99	1706,89	3178,99	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	9	7	2,2	2,2	15400	338,8	6160	67,76	1450,66	3768,8	5219,49	1813,33	2609,75	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	10	36	2,2	2,2	79200	1742,4	31680	348,48	1888,57	19382,6	21271,13	2360,72	10635,56	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha(\%)$	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	440	4,84	6,08	269,2	275,28	7,60	137,64	7,60	0,76
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	18,25	538,4	556,65	22,81	278,33	22,81	2,28
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	30,41	538,4	568,81	38,01	284,41	38,01	3,80
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	45,62	673,0	718,62	57,02	359,31	57,02	5,70
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	57,41	337,7	395,13	71,76	197,57	71,76	7,18
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	644	10,948	71,17	394,0	465,18	88,96	232,59	88,96	8,90
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	82,96	337,7	420,68	103,70	210,34	103,70	10,37
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	1840	31,28	122,27	1125,8	1248,02	152,83	624,01	152,83	15,28
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	1748	29,716	159,61	1069,5	1229,07	199,51	614,54	199,51	19,95
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1564	26,588	193,02	956,9	1149,91	241,27	574,96	241,27	24,13
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1104	18,768	216,60	675,5	892,06	270,76	446,03	270,76	27,08
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	9900	108,9	353,45	6057,0	6410,50	441,81	3205,25	441,81	44,18

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	700	8,4	10,56	428,3	438,83	13,19	219,42	13,19	1,32
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	528	10,56	23,83	323,0	346,87	29,78	173,43	29,78	2,98
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	704	14,08	41,52	430,7	472,24	51,90	236,12	51,90	5,19
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	792	15,84	61,42	484,6	545,99	76,78	272,99	76,78	7,68
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	440	8,8	72,48	269,2	341,68	90,60	170,84	90,60	9,06
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	84,65	538,4	623,05	105,81	311,53	105,81	10,58
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	99,85	673,0	772,86	124,82	386,43	124,82	12,48
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	136,35	1615,2	1751,56	170,43	875,78	170,43	17,04
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	215,41	3499,6	3715,04	269,27	1857,52	269,27	26,93
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	6820	75,02	309,69	4172,6	4482,32	387,11	2241,16	387,11	38,71
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	416,12	4711,0	5127,16	520,15	2563,58	520,15	52,02
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	7260	79,86	516,48	4441,8	4958,31	645,60	2479,16	645,60	64,56
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	635,08	5249,4	5884,52	793,85	2942,26	793,85	79,38

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 40 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	560	6,72	8,44	342,6	351,07	10,56	175,53	10,56	1,06
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	1600	16	28,55	978,9	1007,47	35,69	503,73	35,69	3,57
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	736	12,512	44,27	450,3	494,58	55,34	247,29	55,34	5,53
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	368	6,256	52,14	225,2	277,29	65,17	138,64	65,17	6,52
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	64,30	538,4	602,70	80,37	301,35	80,37	8,04
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	79,50	673,0	752,51	99,38	376,26	99,38	9,94
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1540	16,94	100,79	942,2	1043,00	125,99	521,50	125,99	12,60
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1320	14,52	119,04	807,6	926,65	148,80	463,32	148,80	14,88
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	152,49	1480,6	1633,10	190,61	816,55	190,61	19,06
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	222,43	3095,8	3318,26	278,04	1659,13	278,04	27,80
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	301,50	3499,6	3801,13	376,88	1900,56	376,88	37,69
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	407,94	4711,0	5118,98	509,92	2559,49	509,92	50,99
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	526,54	5249,4	5775,98	658,18	2887,99	658,18	65,82
Silte Arenoso	1	15	44	0,55	2,2	24200	532,4	9680	106,48	660,35	5922,4	6582,79	825,43	3291,40	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-1.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	34,21	1587,4	1621,61	42,76	810,80	42,76	4,28
Silte Arenoso	1	3	15	0,55	2,2	8250	181,5	3300	36,3	91,23	2645,7	2736,89	114,04	1368,45	114,04	11,40
Silte Arenoso	1	4	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	136,85	2116,5	2253,38	171,06	1126,69	171,06	17,11
Silte Arenoso	1	5	9	0,55	2,2	4950	108,9	1980	21,78	171,06	1587,4	1758,46	213,82	879,23	213,82	21,38
Silte Arenoso	1	6	10	0,55	2,2	5500	121	2200	24,2	209,07	1763,8	1972,85	261,34	986,42	261,34	26,13
Silte Arenoso	1	7	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	250,89	1940,2	2191,04	313,61	1095,52	313,61	31,36
Silte Arenoso	1	8	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	338,32	4056,7	4395,00	422,90	2197,50	422,90	42,29
Silte Arenoso	1	9	27	0,55	2,2	14850	326,7	5940	65,34	440,95	4762,2	5203,14	551,19	2601,57	551,19	55,12
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	539,79	4585,8	5125,60	674,74	2562,80	674,74	67,47
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	627,22	4056,7	4683,90	784,02	2341,95	784,02	78,40
Silte Arenoso	1	12	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	775,47	6878,7	7654,18	969,34	3827,09	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-2.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Argiloso	1	2	9	0,23	3,4	2070	70,38	828	14,076	22,11	663,8	685,93	27,64	342,97	27,64	2,76
Silte Argiloso	1	3	12	0,23	3,4	2760	93,84	1104	18,768	51,59	885,1	936,68	64,49	468,34	64,49	6,45
Silte Argiloso	1	4	15	0,23	3,4	3450	117,3	1380	23,46	88,44	1106,4	1194,81	110,55	597,40	110,55	11,06
Silte Argiloso	1	5	3	0,23	3,4	690	23,46	276	4,692	95,81	221,3	317,09	119,77	158,54	119,77	11,98
Silte Argiloso	1	6	0	0,23	3,4	0	0	0	0	95,81	0,0	95,81	119,77	47,91	47,91	4,79
Silte Argiloso	1	7	2	0,23	3,4	460	15,64	184	3,128	100,73	147,5	248,24	125,91	124,12	124,12	12,41
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	115,47	442,5	558,01	144,33	279,01	144,33	14,43
Silte Arenoso	1	9	7	0,55	2,2	3850	84,7	1540	16,94	142,08	1234,6	1376,72	177,59	688,36	177,59	17,76
Silte Arenoso	1	10	36	0,55	2,2	19800	435,6	7920	87,12	278,92	6349,6	6628,51	348,65	3314,25	348,65	34,87

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-3.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte Arenoso	1	2	2	0,55	2,2	1100	24,2	440	4,84	7,60	352,8	360,36	9,50	180,18	9,50	0,95
Silte Arenoso	1	3	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	22,81	705,5	728,32	28,51	364,16	28,51	2,85
Silte Arenoso	1	4	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	38,01	705,5	743,52	47,52	371,76	47,52	4,75
Silte Arenoso	1	5	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	57,02	881,9	938,91	71,27	469,45	71,27	7,13
Silte Argiloso	1	6	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	71,76	442,5	514,31	89,70	257,15	89,70	8,97
Silte Argiloso	1	7	7	0,23	3,4	1610	54,74	644	10,948	88,96	516,3	605,26	111,20	302,63	111,20	11,12
Silte Argiloso	1	8	6	0,23	3,4	1380	46,92	552	9,384	103,70	442,5	546,24	129,62	273,12	129,62	12,96
Silte Argiloso	1	9	20	0,23	3,4	4600	156,4	1840	31,28	152,83	1475,2	1627,99	191,04	813,99	191,04	19,10
Silte Argiloso	1	10	19	0,23	3,4	4370	148,58	1748	29,716	199,51	1401,4	1600,91	249,39	800,45	249,39	24,94
Silte Argiloso	1	11	17	0,23	3,4	3910	132,94	1564	26,588	241,27	1253,9	1495,16	301,59	747,58	301,59	30,16
Silte Argiloso	1	12	12	0,23	3,4	2760	93,84	1104	18,768	270,76	885,1	1155,85	338,44	577,92	338,44	33,84
Silte Arenoso	1	13	45	0,55	2,2	24750	544,5	9900	108,9	441,81	7937,0	8378,79	552,27	4189,40	552,27	55,23

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-4.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	$K$ (MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Argiloso	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	5	0,35	2,4	1750	42	700	8,4	13,19	561,2	574,40	16,49	287,20	16,49	1,65
Argila Siltosa	1	3	6	0,22	4	1320	52,8	528	10,56	29,78	423,3	453,09	37,23	226,54	37,23	3,72
Argila Siltosa	1	4	8	0,22	4	1760	70,4	704	14,08	51,90	564,4	616,31	64,87	308,15	64,87	6,49
Argila Siltosa	1	5	9	0,22	4	1980	79,2	792	15,84	76,78	635,0	711,74	95,98	355,87	95,98	9,60
Argila Siltosa	1	6	5	0,22	4	1100	44	440	8,8	90,60	352,8	443,36	113,25	221,68	113,25	11,33
Silte Arenoso	1	7	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	105,81	705,5	811,32	132,26	405,66	132,26	13,23
Silte Arenoso	1	8	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	124,82	881,9	1006,70	156,02	503,35	156,02	15,60
Silte Arenoso	1	9	12	0,55	2,2	6600	145,2	2640	29,04	170,43	2116,5	2286,96	213,04	1143,48	213,04	21,30
Silte Arenoso	1	10	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	269,27	4585,8	4855,08	336,58	2427,54	336,58	33,66
Silte Arenoso	1	11	31	0,55	2,2	17050	375,1	6820	75,02	387,11	5467,7	5854,80	483,88	2927,40	483,88	48,39
Silte Arenoso	1	12	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	520,15	6173,2	6693,36	650,19	3346,68	650,19	65,02
Silte Arenoso	1	13	33	0,55	2,2	18150	399,3	7260	79,86	645,60	5820,5	6466,05	807,00	3233,02	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	793,85	6878,7	7672,56	992,31	3836,28	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

Capacidade de carga das estacas de 50 cm de diâmetro na região de influência de SPT-5.

Material da camada	$\Delta L$ (m)	Comprimento da estaca (m)	$N_{SPT}$ (MPa)	K(MPa)	$\alpha$ (%)	$r_p$ (kPa)	$r_L$ (kPa)	$r_p/F1$ (kPa)	$r_L/F2$ (kPa)	$P_L$ (kN)	$P_p$ (kN)	$P_R$ (kN)	$P_L/0,8$ (kN)	$P_R/2$ (kN)	$P_{adm.}$ (kN)	$P_{adm.}$ (tf)
Silte Arenoso	1	1	0	0,55	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argila Arenosa	1	2	4	0,35	2,4	1400	33,6	560	6,72	10,56	449,0	459,52	13,19	229,76	13,19	1,32
Areia Siltosa	1	3	5	0,8	2	4000	80	1600	16	35,69	1282,7	1318,43	44,61	659,22	44,61	4,46
Silte Argiloso	1	4	8	0,23	3,4	1840	62,56	736	12,512	55,34	590,1	645,40	69,18	322,70	69,18	6,92
Silte Argiloso	1	5	4	0,23	3,4	920	31,28	368	6,256	65,17	295,0	360,20	81,46	180,10	81,46	8,15
Silte Arenoso	1	6	4	0,55	2,2	2200	48,4	880	9,68	80,37	705,5	785,88	100,47	392,94	100,47	10,05
Silte Arenoso	1	7	5	0,55	2,2	2750	60,5	1100	12,1	99,38	881,9	981,27	124,23	490,63	124,23	12,42
Silte Arenoso	1	8	7	0,55	2,2	3850	84,7	1540	16,94	125,99	1234,6	1360,63	157,49	680,32	157,49	15,75
Silte Arenoso	1	9	6	0,55	2,2	3300	72,6	1320	14,52	148,80	1058,3	1207,06	186,00	603,53	186,00	18,60
Silte Arenoso	1	10	11	0,55	2,2	6050	133,1	2420	26,62	190,61	1940,2	2130,76	238,27	1065,38	238,27	23,83
Silte Arenoso	1	11	23	0,55	2,2	12650	278,3	5060	55,66	278,04	4056,7	4334,72	347,55	2167,36	347,55	34,76
Silte Arenoso	1	12	26	0,55	2,2	14300	314,6	5720	62,92	376,88	4585,8	4962,69	471,10	2481,34	471,10	47,11
Silte Arenoso	1	13	35	0,55	2,2	19250	423,5	7700	84,7	509,92	6173,2	6683,13	637,41	3341,56	637,41	63,74
Silte Arenoso	1	14	39	0,55	2,2	21450	471,9	8580	94,38	658,18	6878,7	7536,89	822,72	3768,45	800,00	80,00
Silte Arenoso	1	15	44	0,55	2,2	24200	532,4	9680	106,48	825,43	7760,6	8586,04	1031,79	4293,02	800,00	80,00

#### LEGENDA

	Capacidade de carga, Aoki-Velloso
	Resistência lateral limitada
	Considerando F.S. global de 2

## APÊNDICE D – Tabela de dados de entrada das estacas

### Estacas Hélice Contínua, diâmetro de 30 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Hélice Contínua
Diâmetro (cm)	30
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	707
Perímetro (cm)	94
F1	2
F2	4
Carga de catálogo (kN)	800

### Estacas Hélice Contínua, diâmetro de 40 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Hélice Contínua
Diâmetro (cm)	40
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1257
Perímetro (cm)	126
F1	2
F2	4
Carga de catálogo (kN)	800

### Estacas Hélice Contínua, diâmetro de 50 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Hélice Contínua
Diâmetro (cm)	50
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1963
Perímetro (cm)	157
F1	2
F2	4
Carga de catálogo (kN)	800

## Estacas Pré-moldadas, diâmetro de 28 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Pré-moldada
Diâmetro (cm)	28
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	616
Perímetro (cm)	88
F1	1,35
F2	2,7
Carga de catálogo (kN)	800
L mín. da estaca (m)	6

## Estacas Pré-moldadas, diâmetro de 38 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Pré-moldada
Diâmetro (cm)	38
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1134
Perímetro (cm)	119
F1	1,475
F2	2,95
Carga de catálogo (kN)	800
L mín. da estaca (m)	6

## Estacas Pré-moldadas, diâmetro de 50 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Pré-moldada
Diâmetro (cm)	50
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1963
Perímetro (cm)	157
F1	1,625
F2	3,25
Carga de catálogo (kN)	800
L mín. da estaca (m)	6

## Estacas Franki, diâmetro de 30 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Franki
Diâmetro (cm)	30
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	707
Perímetro (cm)	94
F1	2,5
F2	5
Carga de catálogo (kN)	800
D (base) (m)	0,65
A (base) (m <sup>2</sup> )	0,332
V (base) (m <sup>3</sup> )	0,18

## Estacas Franki, diâmetro de 40 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Franki
Diâmetro, fuste (cm)	40
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1257
Perímetro (cm)	126
F1	2,5
F2	5
Carga de catálogo (kN)	800
L mín. da estaca (m)	6 ou 7,2
D (base) (m)	0,82
A (base) (m <sup>2</sup> )	0,528
V (base) (m <sup>3</sup> )	0,36

## Estacas Franki, diâmetro de 50 cm

Dados de Entrada	
Tipo da estaca	Franki
Diâmetro, fuste (cm)	50
Área da ponta (cm <sup>2</sup> )	1963
Perímetro (cm)	157
F1	2,5
F2	5
Carga de catálogo (kN)	800
L mín. da estaca (m)	6 ou 7,2
D (base) (m)	0,94
A (base) (m <sup>2</sup> )	0,694
V (base) (m <sup>3</sup> )	0,54

APÊNDICE E – Tabela de dados de saída das estacas hélice contínua, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	7	263,6	15	17,57	40,2	20,1	301,49
2	8	254	12	21,17	70,1	31,7	380,61
7	8	317,3	15	21,15	70,1	31,7	475,76

LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	90,9	26,1	313,79
4	10	283,4	15	18,89	90,9	26,1	392,24
11	10	336,4	16	21,03	90,9	26,1	418,38
12	10	334,9	18	18,61	90,9	26,1	470,68

LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	13	627,3	35	17,92	120,6	41,4	1449,70
6							
8	13	330,1	16	20,63	120,6	41,4	662,72
9	13	258	12	21,50	120,6	41,4	497,04
10	13	247,4	12	20,62	120,6	41,4	497,04
13	13	278,2	15	18,55	120,6	41,4	621,30
14							
15	13	728,9	35	20,83	120,6	41,4	1449,70
16	13	276,7	15	18,45	120,6	41,4	621,30
20	13	215,6	12	17,97	120,6	41,4	497,04
21	13	219	12	18,25	120,6	41,4	497,04

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	70,7	25,2	403,90
18	10	328,7	15	21,91	70,7	25,2	378,66
19	10	307,5	15	20,50	70,7	25,2	378,66
25	10	250,3	12	20,86	70,7	25,2	302,92
26	10	260,4	15	17,36	70,7	25,2	378,66

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	65,6	26,1	391,00
23	11	334,9	15	22,33	65,6	26,1	391,00
24	11	335,7	16	20,98	65,6	26,1	417,07
27	11	268,2	15	17,88	65,6	26,1	391,00
28	10	246,3	15	16,42	35,7	17,8	267,59

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	7	263,6	15	17,57	63,1	31,4	470,41
2	8	254	12	21,17	113,3	42,3	507,48
7	8	317,3	15	21,15	113,3	42,3	634,35

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	152,3	34,9	418,38
4	10	283,4	15	18,89	152,3	34,9	522,98
11	10	336,4	16	21,03	152,3	34,9	557,85
12	10	334,9	18	18,61	152,3	34,9	627,58

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	13	627,3	35	17,92	199,7	55,2	1932,94
6	13	330,1	16	20,63	199,7	55,2	883,63
9	13	258	12	21,50	199,7	55,2	662,72
10	13	247,4	12	20,62	199,7	55,2	662,72
13	13	278,2	15	18,55	199,7	55,2	828,40
14	13	728,9	35	20,83	199,7	55,2	1932,94
15	13	276,7	15	18,45	199,7	55,2	828,40
20	13	215,6	12	17,97	199,7	55,2	662,72
21	13	219	12	18,25	199,7	55,2	662,72

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	116,8	33,7	538,53
18	10	328,7	15	21,91	116,8	33,7	504,87
19	10	307,5	15	20,50	116,8	33,7	504,87
25	10	250,3	12	20,86	116,8	33,7	403,90
26	10	260,4	15	17,36	116,8	33,7	504,87

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	107,3	34,8	521,33
23	11	334,9	15	22,33	107,3	34,8	521,33
24	11	335,7	16	20,98	107,3	34,8	556,09
27	11	268,2	15	17,88	107,3	34,8	521,33
28	10	246,3	15	16,42	57,1	23,8	357,40

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	7	263,6	15	17,57	90,8	39,2	588,02
2	8	254	12	21,17	166,5	52,9	634,35
7	8	317,3	15	21,15	166,5	52,9	792,93

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	229,3	43,6	522,98
4	10	283,4	15	18,89	229,3	43,6	653,73
11	10	336,4	16	21,03	229,3	43,6	697,31
12	10	334,9	18	18,61	229,3	43,6	784,47

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	13	627,3	35	17,92	298,2	69,0	2416,17
6	13	330,1	16	20,63	298,2	69,0	1104,54
9	13	258	12	21,50	298,2	69,0	828,40
10	13	247,4	12	20,62	298,2	69,0	828,40
13	13	278,2	15	18,55	298,2	69,0	1035,50
14	13	728,9	35	20,83	298,2	69,0	2416,17
15	13	276,7	15	18,45	298,2	69,0	1035,50
20	13	215,6	12	17,97	298,2	69,0	828,40
21	13	219	12	18,25	298,2	69,0	828,40

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	174,0	42,1	673,16
18	10	328,7	15	21,91	174,0	42,1	631,09
19	10	307,5	15	20,50	174,0	42,1	631,09
25	10	250,3	12	20,86	174,0	42,1	504,87
26	10	260,4	15	17,36	174,0	42,1	631,09

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 30$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	158,9	43,4	651,66
23	11	334,9	15	22,33	158,9	43,4	651,66
24	11	335,7	16	20,98	158,9	43,4	695,11
27	11	268,2	15	17,88	158,9	43,4	651,66
28	10	246,3	15	16,42	83,2	29,8	446,75

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

APÊNDICE F – Tabela de dados de saída das estacas pré-moldadas, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Estacas pré-moldadas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 28 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø28	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	6	263,6	15	17,57	46,8	23,4	350,76
2	6	254	12	21,17	46,8	23,4	280,61
7	6	317,3	15	21,15	46,8	23,4	350,76

LEGENDA



Aoki-Velloso  
NBR 6122

Estacas pré-moldadas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 28 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø28	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	119,2	36,2	433,88
4	10	283,4	15	18,89	119,2	36,2	542,35
11	10	336,4	16	21,03	119,2	36,2	578,51
12	10	334,9	18	18,61	119,2	36,2	650,82

LEGENDA

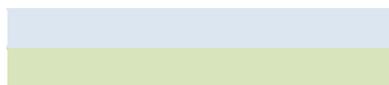


Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas pré-moldadas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 28 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø28	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	12	627,3	35	17,92	40,7	20,3	711,67
6	13	330,1	16	20,63	158,7	57,3	916,36
9	13	258	12	21,50	158,7	57,3	687,27
10	13	247,4	12	20,62	158,7	57,3	687,27
13	12	278,2	15	18,55	40,7	20,3	305,00
14	13	728,9	35	20,83	158,7	57,3	2004,53
15	12	276,7	15	18,45	40,7	20,3	305,00
20	12	215,6	12	17,97	40,7	20,3	244,00
21	12	219	12	18,25	40,7	20,3	244,00

## LEGENDA

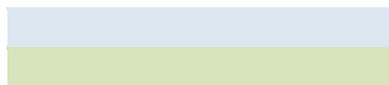


Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas pré-moldadas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 28 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø28	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	12	321,3	16	20,08	141,7	67,4	1078,84
18	12	328,7	15	21,91	141,7	67,4	1011,41
19	12	307,5	15	20,50	141,7	67,4	1011,41
25	12	250,3	12	20,86	141,7	67,4	809,13
26	12	260,4	15	17,36	141,7	67,4	1011,41

## LEGENDA



Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas pré-moldadas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 28 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 28$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	12	300,6	15	20,04	104,3	48,9	732,82
23	12	334,9	15	22,33	104,3	48,9	732,82
24	12	335,7	16	20,98	104,3	48,9	781,67
27	12	268,2	15	17,88	104,3	48,9	732,82
28	12	246,3	15	16,42	104,3	48,9	732,82

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 38 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 30$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	6	263,6	15	17,57	69,2	33,7	504,96
2	6	254	12	21,17	69,2	33,7	403,97
7	6	317,3	15	21,15	69,2	33,7	504,96

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 38 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 30$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	188,2	44,9	538,94
4	10	283,4	15	18,89	188,2	44,9	673,67
11	10	336,4	16	21,03	188,2	44,9	718,58
12	10	334,9	18	18,61	188,2	44,9	808,40

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 38 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	12	627,3	35	17,92	56,1	28,0	981,72
6	13	330,1	16	20,63	247,2	71,1	1138,23
9	13	258	12	21,50	247,2	71,1	853,68
10	13	247,4	12	20,62	247,2	71,1	853,68
13	12	278,2	15	18,55	56,1	28,0	420,74
14	13	728,9	35	20,83	247,2	71,1	2489,89
15	12	276,7	15	18,45	56,1	28,0	420,74
20	12	215,6	12	17,97	56,1	28,0	336,59
21	12	219	12	18,25	56,1	28,0	336,59

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 38 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	12	321,3	16	20,08	215,0	80,0	1280,00
18	12	328,7	15	21,91	215,0	80,0	1200,00
19	12	307,5	15	20,50	215,0	80,0	1200,00
25	12	250,3	12	20,86	215,0	80,0	960,00
26	12	260,4	15	17,36	215,0	80,0	1200,00

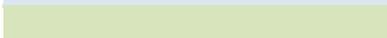
## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 38 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	12	300,6	15	20,04	158,5	60,7	910,26
23	12	334,9	15	22,33	158,5	60,7	910,26
24	12	335,7	16	20,98	158,5	60,7	970,94
27	12	268,2	15	17,88	158,5	60,7	910,26
28	12	246,3	15	16,42	158,5	60,7	910,26

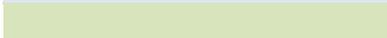
## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	6	263,6	15	17,57	98,6	40,2	603,10
2	6	254	12	21,17	98,6	40,2	482,48
7	6	317,3	15	21,15	98,6	40,2	603,10

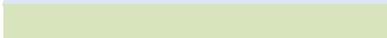
## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	282,2	53,6	643,67
4	10	283,4	15	18,89	282,2	53,6	804,59
11	10	336,4	16	21,03	282,2	53,6	858,23
12	10	334,9	18	18,61	282,2	53,6	965,50

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	12	627,3	35	17,92	75,0	37,5	1312,57
6							
8	13	330,1	16	20,63	367,0	80,0	1280,00
9	13	258	12	21,50	367,0	80,0	960,00
10	13	247,4	12	20,62	367,0	80,0	960,00
13	12	278,2	15	18,55	75,0	37,5	562,53
14							
15	13	728,9	35	20,83	367,0	80,0	2800,00
16	12	276,7	15	18,45	75,0	37,5	562,53
20	12	215,6	12	17,97	75,0	37,5	450,02
21	12	219	12	18,25	75,0	37,5	450,02

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	12	321,3	16	20,08	312,6	80,0	1280,00
18	12	328,7	15	21,91	312,6	80,0	1200,00
19	12	307,5	15	20,50	312,6	80,0	1200,00
25	12	250,3	12	20,86	312,6	80,0	960,00
26	12	260,4	15	17,36	312,6	80,0	1200,00

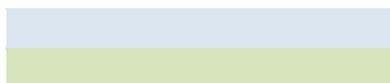
## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 30$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	12	300,6	15	20,04	230,8	72,5	1087,15
23	12	334,9	15	22,33	230,8	72,5	1087,15
24	12	335,7	16	20,98	230,8	72,5	1159,62
27	12	268,2	15	17,88	230,8	72,5	1087,15
28	12	246,3	15	16,42	230,8	72,5	1087,15

## LEGENDA



Aoki-Velloso  
NBR 6122

APÊNDICE G – Tabela de dados de saída das estacas Franki, tabelas adaptadas de Moreira (2019)

Estacas Franki na região de influência de SPT-1, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Re-sist./est. (tf)	Re-sist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	8	263,6	15	17,57	215,3	25,4	380,61
2	8	254	12	21,17	215,3	25,4	304,49
7	8	317,3	15	21,15	215,3	25,4	380,61

LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

Estacas Franki na região de influência de SPT-2, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	12	21,08	322,0	20,9	251,03
4	10	283,4	15	18,89	322,0	20,9	313,79
11	10	336,4	18	18,69	322,0	20,9	376,55
12	10	334,9	18	18,61	322,0	20,9	376,55

LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas Franki na região de influência de SPT-3, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	11	627,3	35	17,92	74,8	18,10	633,35
6							
8	13	330,1	16	20,63	408,1	33,1	530,18
9	13	258	12	21,50	408,1	33,1	397,63
10	13	247,4	12	20,62	408,1	33,1	397,63
13	12	278,2	15	18,55	58,8	20,3	304,60
14							
15	13	728,9	35	20,83	408,1	33,1	1159,76
16	12	276,7	15	18,45	58,8	20,3	304,60
20	12	215,6	12	17,97	58,8	20,3	243,68
21	12	219	12	18,25	58,8	20,3	243,68

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas Franki na região de influência de SPT-4, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	236,6	20,2	323,12
18	11	328,7	15	21,91	286,1	29,0	435,50
19	11	307,5	15	20,50	286,1	29,0	435,50
25	11	250,3	12	20,86	286,1	29,0	348,40
26	10	260,4	15	17,36	236,6	20,2	302,92

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas Franki na região de influência de SPT-5, diâmetro de 30 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø30	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	211,7	20,9	312,80
23	12	334,9	15	22,33	243,1	28,3	423,99
24	11	335,7	16	20,98	211,7	20,9	333,65
27	11	268,2	15	17,88	211,7	20,9	312,80
28	11	246,3	15	16,42	211,7	20,9	312,80

## LEGENDA

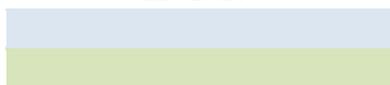


Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	8	263,6	15	17,57	336,6	33,8	507,48
2	8	254	12	21,17	336,6	33,8	405,98
7	8	317,3	15	21,15	336,6	33,8	507,48

## LEGENDA

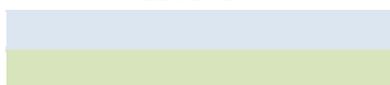


Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	15	16,87	2127,1	80,0	1200,00
4	10	283,4	15	18,89	2127,1	80,0	1200,00
11	10	336,4	18	18,69	2127,1	80,0	1440,00
12	10	334,9	18	18,61	2127,1	80,0	1440,00

## LEGENDA



Aoki-Velloso  
NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	11	627,3	35	17,92	115,0	24,13	844,46
6	13	330,1	16	20,63	641,0	44,2	706,90
9	13	258	12	21,50	641,0	44,2	530,18
10	13	247,4	12	20,62	641,0	44,2	530,18
13	12	278,2	15	18,55	89,2	27,1	406,13
14	13	728,9	35	20,83	641,0	44,2	1546,35
15	12	276,7	15	18,45	89,2	27,1	406,13
20	12	215,6	12	17,97	89,2	27,1	324,91
21	12	219	12	18,25	89,2	27,1	324,91

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. Ø40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	371,5	26,9	430,83
18	10	328,7	15	21,91	371,5	26,9	403,90
19	10	307,5	15	20,50	371,5	26,9	403,90
25	10	250,3	12	20,86	371,5	26,9	323,12
26	10	260,4	15	17,36	371,5	26,9	403,90

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 40 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	331,8	27,8	417,07
23	11	334,9	15	22,33	331,8	27,8	417,07
24	11	335,7	16	20,98	331,8	27,8	444,87
27	11	268,2	15	17,88	331,8	27,8	417,07
28	11	246,3	15	16,42	331,8	27,8	417,07

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-1, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
1	8	263,6	15	17,57	439,5	42,3	634,35
2	8	254	12	21,17	439,5	42,3	507,48
7	8	317,3	15	21,15	439,5	42,3	634,35

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-2, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
3	10	253	15	16,87	662,9	34,9	522,98
4	10	283,4	15	18,89	662,9	34,9	522,98
11	10	336,4	18	18,69	662,9	34,9	627,58
12	10	334,9	18	18,61	662,9	34,9	627,58

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-3, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
5	11	627,3	35	17,92	149,5	30,16	1055,58
6	13	330,1	16	20,63	837,9	55,2	883,63
9	13	258	12	21,50	837,9	55,2	662,72
10	13	247,4	12	20,62	837,9	55,2	662,72
13	12	278,2	15	18,55	115,6	33,8	507,67
14	13	728,9	35	20,83	837,9	55,2	1932,94
15	12	276,7	15	18,45	115,6	33,8	507,67
20	12	215,6	12	17,97	115,6	33,8	406,13
21	12	219	12	18,25	115,6	33,8	406,13

## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-4, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi$ 40	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
17	10	321,3	16	20,08	485,5	33,7	538,53
18	10	328,7	15	21,91	485,5	33,7	504,87
19	10	307,5	15	20,50	485,5	33,7	504,87
25	10	250,3	12	20,86	485,5	33,7	403,90
26	10	260,4	15	17,36	485,5	33,7	504,87

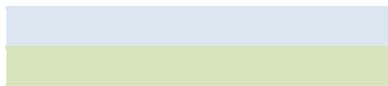
## LEGENDA

	Aoki-Velloso
	NBR 6122

## Estacas na região de influência de SPT-5, diâmetro de 50 cm

Pilar	Prof. Estaca (m)	Solicitação (tf)	Qtd. Est. $\Phi 40$	Solicit./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist./est. (tf)	Resist. Total (tf)
22	11	300,6	15	20,04	433,5	34,8	521,33
23	11	334,9	15	22,33	433,5	34,8	521,33
24	11	335,7	16	20,98	433,5	34,8	556,09
27	11	268,2	15	17,88	433,5	34,8	521,33
28	11	246,3	15	16,42	433,5	34,8	521,33

## LEGENDA



Aoki-Velloso  
NBR 6122

## ANEXOS

## Anexo A

## Boletim de sondagem do furo SPT-01

Página 1 de 1

Cotas (m)		Nível d'água	Amostra e Revest. (Avanço)	Ensaio de Penetração		Gráfico de Resistência Nº de Golpes x 30 cm					Prof. (m)	Identificação do Material	
				30 cm (Inicial)	30 cm (Final)	0	10	20	30	40			
16,10		seco	01	03	04						0	Silte argiloso, consistência mole, cor amarelo escuro.	
15,05/08			02	06	07						1		Silte arenoso, compactidade pouco compacta, cor variegada.
			03	08	09						2	Silte arenoso, compactidade medianamente compacta, cor amarelo escuro.	
			04	12	15						3		Silte arenoso, compactidade medianamente compacta a muito compacta, cor amarelo claro.
			05	10	12						4	Rocha calcária alterada, compactidade muito compacta, cor amarelo claro.	
			06	07	09						5		Impenetrável à Percussão (ao trépano). Avanços (cm): 2, 1 e 1 p/ cada 10 min.
			07	10	10						6		
			08	09	11						7		
			09	14	23						8		
			10	16	27						9		
			11	16	26						10		
			12	14	23						11		
			13	34/24	30/8						12		
			14	35/8							13		
0,87			15	37/5							14		
13,90											14,23		
Obs:												TH: 0,00 à 1,00 m	Visto:
Escala Vertical: 1/100												CA: A partir de 1,00 m	Engº Olavo C. Nascimento
Data: 27/05/08												Sondador: Kleber Pereira	Técnico: José dos S't's Borges
													Crea: 3454 D.V.238 Se

Fonte: Sonda (2008)

Boletim de sondagem do furo SPT-02

Cotas (m)		Nível d'água	Amostra e Revest. (Avanço)	Ensaio de Penetração		Gráfico de Resistência Nº de Golpes x 30 cm					Prof. (m)	Identificação do Material
				30 cm (Inicial)	30 cm (Final)	0	10	20	30	40		
13,18		seco	01	04	05						0	Silte argiloso com presença de pedregulho, consistência mole, cor vermelho claro.
		15/05/08	02	05	06						0,65	
			03	07	09						2	Silte argiloso, consistência média a rija, cor vermelho claro.
			04	08	12						3	
			05	12	15						4	
			06	04	03						5	Silte argiloso, consistência muito mole a mole, cor variegada.
			07	00	00						6	
			08	02	02						7	
			09	05	06						8	Silte arenoso micáceo, compactidade pouco compacta, cor amarelo escuro.
			10	06	07						9	
			11	20	36						10	Silte arenoso com presença de rocha calcária decomposta, compactidade compacta a muito compacta, cor amarelo escuro.
			12	30/5							11	
1,07			13	27/3							12	Rocha calcária alterada, compactidade muito compacta, cor amarelo escuro.
											12,11	Impenetrável à Percussão (ao trépano). Avanços (cm): 1, 1 e 1 p/ cada 10 min.

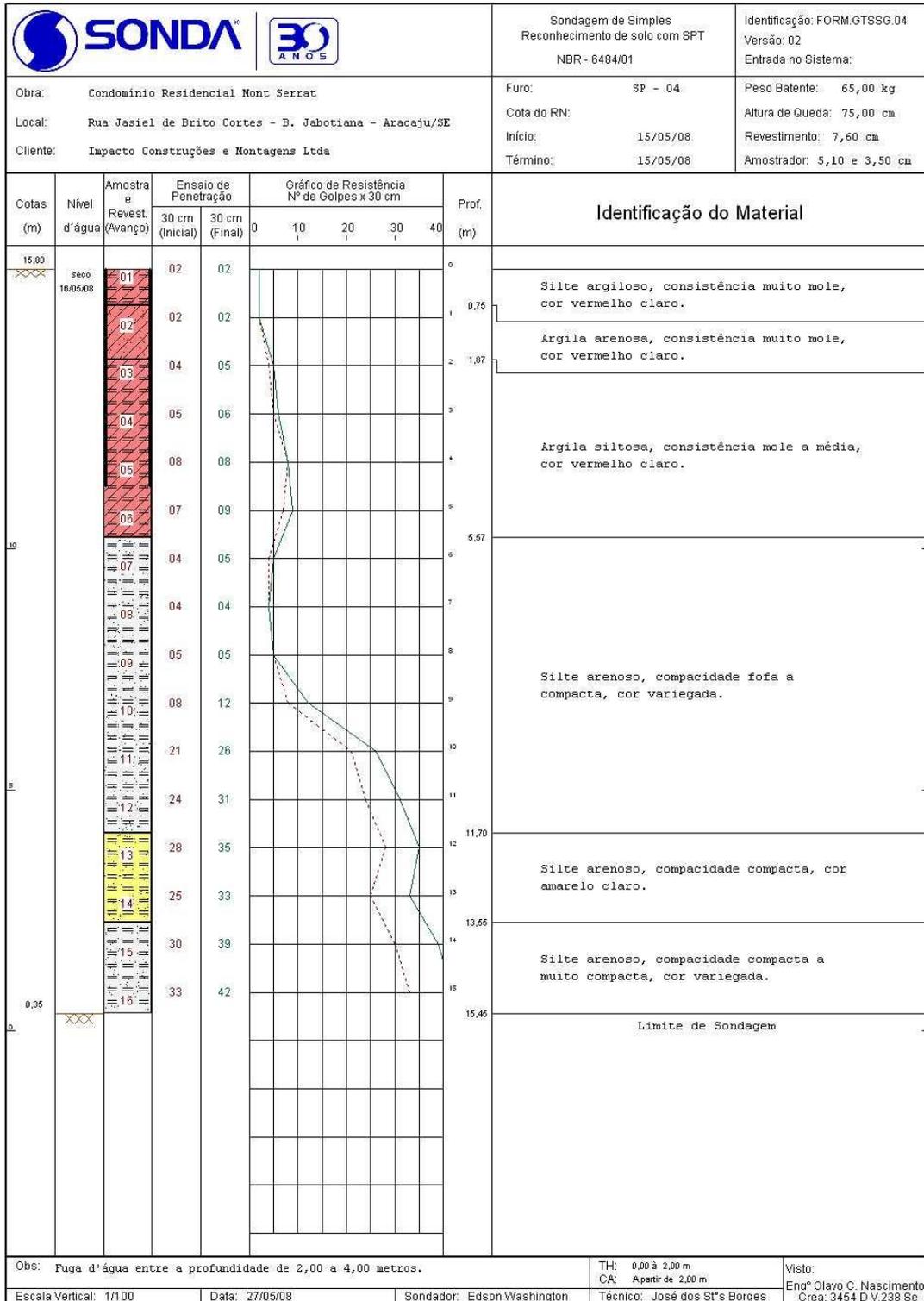
Obs: Escala Vertical: 1/100      Data: 27/05/08      Sondador: Kleber Pereira      TH: 0,00 à 1,00 m      Visto:      CA: Apartir de 1,00 m      Endº Olavo C. Nascimento      Técnico: José dos S's Borges      Crea: 3454 D V.238 Se

Boletim de sondagem do furo SPT-03

SONDA		30 ANOS		Sondagem de Simples Reconhecimento de solo com SPT NBR - 6484/01		Identificação: FORM.GTSSG.04 Versão: 02 Entrada no Sistema:						
Obra: Condomínio Residencial Mont Serrat				Furo: SP - 03		Peso Batente: 65,00 kg						
Local: Rua Jasiel de Brito Cortes - E. Jabotiana - Aracaju/SE				Cota do RN:		Altura de Queda: 75,00 cm						
Cliente: Impacto Construções e Montagens Ltda				Início: 16/05/08		Revestimento: 7,60 cm						
				Término: 16/05/08		Amostrador: 5,10 e 3,50 cm						
Cotas (m)	Nível d'água	Amostra e Revest. (Avanço)	Ensaio de Penetração		Gráfico de Resistência Nº de Golpes x 30 cm					Prof. (m)	Identificação do Material	
			30 cm (Inicial)	30 cm (Final)	0	10	20	30	40			
15,54	seco 17/05/08	01	05	04							0	Silte argiloso com areia fina, consistência mole, cor variegada.
		02	03	03							0,60	
		03	03	02							1,70	Silte arenoso com presença de detritos de construção, compactidade fofa, cor vermelho claro.
		04	04	04								
		05	04	04								
		06	04	05							4,90	Silte arenoso, compactidade fofa, cor vermelho claro.
		07	06	06								
		08	06	07								
		09	05	06								
		10	16	20							8,95	
		11	13	19								
		12	12	17								
		13	09	12								
		14	45/8								12,56	
		15	50/10									
		16	55/7									
		17	52/7								16,07	
	-0,69										16,23	
									Impenetrável à Percussão (ao trépano). Avanços (cm): 1, 0 e 0 p/ cada 10 min.			
Obs:						TH: 0,00 à 2,00 m CA: Apartir de 2,00 m		Visto: Endº Olavo C. Nascimento Crea: 3454 D V.238 Se				
Escala Vertical: 1/100			Data: 27/05/08		Sondador: Edson Washington		Técnico: José dos S's Borges					

Fonte: Sonda (2008)

Boletim de sondagem do furo SPT-04



Fonte: Sonda (2008)

## Boletim de sondagem do furo SPT-05

Página 1 de 1

SONDA		30 ANOS		Sondagem de Simples Reconhecimento de solo com SPT NBR - 6484/01		Identificação: FORM.GTSSG.04 Versão: 02 Entrada no Sistema:						
Obra: Condomínio Residencial Mont Serrat				Furo: SP - 05		Peso Batente: 65,00 kg						
Local: Rua Jasiel de Brito Cortes - E. Jabotiana - Aracaju/SE				Cota do RN:		Altura de Queda: 75,00 cm						
Cliente: Impacto Construções e Montagens Ltda				Início: 14/05/08		Revestimento: 7,60 cm						
				Término: 14/05/08		Amostrador: 5,10 e 3,50 cm						
Cotas (m)	Nível d'água	Amostra e Revest. (Avanço)	Ensaio de Penetração		Gráfico de Resistência Nº de Golpes x 30 cm					Prof. (m)	Identificação do Material	
			30 cm (Inicial)	30 cm (Final)	0	10	20	30	40			
16,86	seco 16/05/08	01	05	06							0	
		02	09	10							0,75	Silte arenoso, compactidade pouco compacta, cor variegada.
		03	04	04							1,62	Argila arenosa com presença de pedregulho, consistência média, cor vermelho escuro.
		04	04	05							3,33	Areia fina siltosa com pedregulho, compactidade fofa a pouco compacta, cor marrom escuro.
		05	07	08							4,95	Silte argiloso, consistência média, cor variegada.
		06	04	04							6	
		07	04	04							7	
		08	04	05							8	Silte arenoso, compactidade fofa a medianamente compacta, cor variegada.
		09	05	07							9	
		10	06	06							10	
		11	08	11							10,77	
		12	17	23							12	
		13	20	26							13	Silte arenoso, compactidade compacta a muito compacta, cor amarelo escuro.
		14	28	35							14	
		15	31	39							15	
		16	33	44							15,46	Limite de Sondagem
Obs:						TH: 0,00 à 2,00 m CA: Apartir de 2,00 m		Visto: Engº Olavo C. Nascimento Crea: 3454 D V.238 Se				
Escala Vertical: 1/100			Data: 27/05/08		Sondador: Edson Washington		Técnico: José dos S't's Borges					

Fonte: Sonda (2008)

## ANEXO B – Informações de catálogo

Cargas máximas de compressão das estacas hélice contínuas não armadas.

DESCRIÇÃO	UN.	VALORES													
		25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
DIÂMETRO (D)	cm	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
CARGA ADMISSÍVEL ESTRUTURAL (Pk)	tf	30	45	60	80	130	190	255	335	425	525	640	760	895	1035
DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE EIXOS (c)	cm	65	75	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
DISTÂNCIA EIXO-DIVISA (e)	cm	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL (Ac)	cm <sup>2</sup>	491	707	962	1.257	1.963	2.827	3.848	5.027	6.362	7.854	9.503	11.310	13.273	15.394
PERÍMETRO (U)	cm	79	94	110	126	157	188	220	251	283	314	346	377	408	440
MOMENTO DE INÉRCIA (I)	cm <sup>4</sup> x10 <sup>4</sup>	1,92	3,98	7,37	12,57	30,68	63,62	117,86	201,06	322,06	490,87	718,69	1.017,88	1.401,98	1.885,74
MOMENTO RESISTENTE (W)	cm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	1,53	2,65	4,21	6,28	12,27	21,21	33,67	50,27	71,57	98,18	130,67	169,65	215,69	269,39
RAIO DE GIRAÇÃO (i)	cm	6,2	7,5	8,8	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	32,5	35,0

Fonte: Geofix (2012)

## Catálogo técnico, características técnicas das estacas pré-moldadas (Perímetro, cm)

Fabricantes		Comparativo de Perímetro ( atrito lateral cm )											
Protendit	Lado ou Ø		15.0	17.0	19.5	21.5	23.5	26.5	29.5	36.0	42.0	52.0	
		Perímetro	60.0	68.0	78.0	86.0	94.0	106.0	118.0	116.0	132.0	162.0	
Outros	Lado ou Ø	17.0	20.0	23.0	26.0	28.0		33.0	38.0				
		Perímetro	53.4	62.8	72.2	81.7	88.0		103.7	119.4			
Outros	Lado ou Ø	H 17	H 20	H 24		23.0	26.0	33.0	38.0		42.0	50.0	
		Perímetro	51.0	60.0	72.0		72.3	81.7	103.7	119.4		131.9	157.0
Outros	Lado ou Ø		15.0	17.0		21.0	23.0	26.0	30.0	H 40	H 46		
		Perímetro	60.0	68.0		84.0	92.0	104.0	120.0	120.0	139.0		
Outros	Lado ou Ø		16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	30.0		33.0		
		Perímetro	64.0	72.0	80.0	88.0	96.0	104.0	120.0		132.0		

Fonte: Protendit (2019)

Catálogo técnico, características técnicas das estacas pré-moldadas (Área de ponta, cm<sup>2</sup>)

Fabricantes		Comparativos de área de ponta ( cm <sup>2</sup> )										
Protendit	Lado ou Ø		15.0	17.0	19.5	21.5	23.5	26.5	29.5	36.0	42.0	52.0
		Área	225	289	380	462	552	702	870	1015	1324	2057
Outros	Lado ou Ø		17.0	20.0	23.0		26.0	28.0	33.0	38.0		
		Área	227	314	415		531	616	855	1134		
Outros	Lado ou Ø	H 17	H 20	H 24	23.0		26.0		33.0	38.0	42.0	50.0
		Área	188	260	374	415		531	855	1134	1385	1963
Outros	Lado ou Ø		15.0	17.0		21.0	23.0	26.0	30.0	H 40	H 46	
		Área	225	289		441	529	676	900	1040	1386	
Outros	Lado ou Ø		16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	30.0	33.0		
		Área	256	324	400	484	576	676	900	1089		

Fonte: Protendit (2019)

Catálogo técnico, informações das estacas tipo Franki (Volume, m<sup>3</sup>, e área, m<sup>2</sup>, de base)

VOLUME DE BASE (litro)							
BASES	ESTACAS $\varnothing f$						
	300	350	400	450	520	600	700
MÍNIMA	90	90	180	270	300	450	600
NORMAL	90	180	270	360	450	600	750
USUAL	180	270	360	450	600	750	900
ESPECIAL	270	360	450	600	750	900	1050

VOLUME DA BASE (l)	ÁREA DA BASE (m <sup>2</sup> )	DIÂMETRO DA BASE $\varnothing_b$ (m)
90	0,212	0,52
150	0,292	0,61
180	0,332	0,65
270	0,430	0,74
300	0,478	0,78
360	0,528	0,82
450	0,608	0,88
540	0,694	0,94
600	0,739	0,97
630	0,785	1,00
750	0,866	1,05
900	0,985	1,12
1050	1,112	1,19
INJETADO	COMPACTADO	

Fonte: Franki (2014)

Catálogo técnico, informações das estacas tipo Franki (comprimentos para diâmetro de 30 cm, m)



#### NÚMERO MÍNIMO DE GOLPES PARA SER ATINGIDA A ENERGIA MÍNIMA DE CRAVAÇÃO

DIÂMETRO (mm)	PÊSO DO PILÃO (kg)	ALTURA DE QUEDA (m)	
		6,00	7,20
300	1000	30	25
	1200	25	21
	1300	23	20
	1400	22	18
	1500	20	17

Fonte: Franki (2014)