

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO  
GRANDE DO SUL – UNIJUI**

**JAIR RODRIGO KUNTZLER**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ERRO NA ALTURA DE QUEDA DO  
MARTELO PADRÃO DURANTE A EXECUÇÃO DA SONDAGEM TIPO  
SPT, DE ACORDO COM A NBR 6484**

**Ijuí - RS**

**2019**

**JAIR RODRIGO KUNTZLER**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ERRO NA ALTURA DE QUEDA DO  
MARTELO PADRÃO DURANTE A EXECUÇÃO DA SONDAGEM TIPO  
SPT, DE ACORDO COM A NBR 6484**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia  
Civil apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador (a): **Prof. Me. Rafael Aésio de Oliveira Zaltron**

**Ijuí - RS**

**2019**

**JAIR RODRIGO KUNTZLER**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ERRO NA ALTURA DE QUEDA DO  
MARTELO PADRÃO DURANTE A EXECUÇÃO DA SONDAGEM TIPO  
SPT, DE ACORDO COM A NBR 6484**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 08 de julho de 2019

Prof. Rafael Aésio de Oliveira Zaltron

Mestre pela Universidade Federal de Ouro Preto - Orientador

Prof. Lia Geovana Sala

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Rafael Aésio de Oliveira Zaltron (UNIJUÍ)

Mestre pela Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Fernando Wypyszynski (UNIJUÍ)

Especialista pela Universidade Regional da Missões - URI

Dedico este trabalho aos meus pais Lauro e Soeli, por todo amor e carinho. Só foi possível graças apoio de vocês!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida. Também pela coragem, fé e sabedoria que me foi concedido nesse período, e em toda minha história. Sou grato pelo amparo nos momentos de dificuldade. Sou infinitamente grato pela proteção Divina que recebi em todas minhas viagens até Ijuí.

A toda minha família, em especial meus pais Lauro e Soeli, do quais sempre recebi todo o apoio necessário durante esta etapa de quase 8 anos, seja psicológica ou economicamente. Vocês são meu maior exemplo de cumplicidade, honestidade e fidelidade. Nenhuma faculdade poderia ensinar melhor do que o exemplo de vocês. Também aos meus irmãos Lucas e Bruna, que sempre me incentivaram a continuar nesta caminhada. Muito obrigado. Só foi possível pelo amparo de vocês.

Aos meus tios, Liciane e Vilmar, que me acolheram em sua casa no início da minha graduação, ainda em Panambi, e me trataram durante todo tempo que estive com eles como um verdadeiro filho. Vocês possibilitaram o início dessa jornada, e merecem toda minha gratidão.

A todo corpo docente da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, especialmente os professores do curso de Engenharia Civil, que durante 7,5 anos - 15 semestres - estiveram transmitindo conhecimentos e experiências pessoais por meio de aulas, avaliações e conversas. Agradeço pela dedicação aos alunos, e pela cobrança quando necessário.

A empresa Fockink Industrias Elétricas, da qual iniciei a trilhar meu caminho profissional em 2012. A todos os amigos que fiz neste período que estive trabalhando nesta empresa, e por todo conhecimento prático que adquiri com vocês. Muito obrigado.

A Cotricampo, empresa que acompanhou os últimos 6 anos desta graduação (os anos mais intensos, por sinal). A ela, meu muito obrigado. Obrigado por compreender e sempre me apoiar em todos os momentos. Agradecimento especial por permitir e entender minha ausência quando foi necessário para estudar ou eventualmente ir a aula no turno da tarde. Agradeço também aos meus supervisores, gestores e demais colegas de trabalho, por toda cooperação, apoio e incentivo que sempre recebi. Vocês são uma segunda família, e são parte da minha história.

A todos os meus amigos, que sempre me incentivaram com palavras de apoio, cada um do seu modo, principalmente nos momentos mais difíceis. Agradeço a compreensão do meu “não” quando foi necessário abrir mão do lazer para estudar, ou fazer algum trabalho da faculdade. E sem dúvida foram muitos.

Aos meus colegas do ônibus, que me acompanhavam durante as viagens de Campo Novo A Ijuí – RS, e junto comigo passavam pelo menos 3 horas todos os dias viajando 110 km para ir, e mais 110 km para voltar para casa. Sempre com segurança e proteção divina. Não foram poucos os momentos em que ficamos parados na estrada por algum problema ocorrido, como greves, concerto de rodovias, problemas no ônibus (até falta de combustível), e que tivemos que achar de última hora outro meio de transporte para chegar a tempo na aula, isso quando conseguíamos. Só quem passa por esses momentos, depois de um dia de trabalho e uma mais uma viagem de quase duas horas, chegando no início da aula já cansado pelos acontecimentos do dia, sabe como é difícil acompanhar com dedicação uma matéria, sendo necessário vários copos de café e água para espantar o cansaço e o sono.

Muitas outras pessoas tiveram participação direta e indireta nesta caminhada. A todos, meu muito obrigado. Não posso dizer que é uma conquista apenas minha. Todos vocês têm participação, e merecem meu agradecimento mais sincero.

Tudo que a mente do homem é capaz de  
conceber e acreditar pode ser alcançado.

*Napoleon Hill*

## **RESUMO**

**KUNTZLER, J. R. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ERRO NA ALTURA DE QUEDA DO MARTELO PADRÃO DURANTE A EXECUÇÃO DA SONDAGEM TIPO SPT, DE ACORDO COM A NBR 6484.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul- UNIJUÍ, Ijuí- RS, 2019.

Ao iniciar uma obra se faz necessário um conhecimento muito claro sobre o solo no qual a mesma será edificada. O dimensionamento correto da fundação tem como princípio o conhecimento preciso das cargas aplicadas e da resistência do solo. Um dos métodos empíricos, mas normatizados, e também um dos mais utilizados no mundo atualmente para conhecimento do solo, é a sondagem tipo STP (Standart Penetration Test), que significa Ensaio de Penetração Padrão. Esta sondagem tem como princípio analisar a penetração de uma haste metálica após golpes de um peso que é solto de determinada altura. A quantidade de golpes necessária para penetrar certa profundidade representa a resistência deste solo, o NSPT. A sondagem ainda permite a compreensão das camadas de solo, tendo em vista que coleta amostras de cada camada. Ainda é possível analisar a resistência à torsão. Porém o ensaio é em sua grande maioria realizado manualmente, e o peso padrão é solto de uma altura manualmente, o que permite, de acordo com estudos realizados, um erro significativo nesta altura queda. O objetivo deste trabalho é avaliar o grau de influência deste erro no resultado ideal da sondagem, tendo em vista que um resultado impreciso trará consequências no dimensionamento das fundações. A esse respeito, duas situações podem ocorrer: A fundação ser maior do que o ideal (causando um custo desnecessário) ou menor, podendo ocasionar patologias na edificação, ou mesmo levar ao seu colapso.

**Palavras-Chave:** SPT, Solos, Sondagem, Fundações

## **ABSTRACT**

**KUNTZLER, J. R. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ERRO NA ALTURA DE QUEDA DO MARTELO PADRÃO DURANTE A EXECUÇÃO DA SONDAGEM TIPO SPT, DE ACORDO COM A NBR 6484.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul- UNIJUÍ, Ijuí- RS, 2019.

When starting a work requires a very clear knowledge about the soil on which it will be built. The correct sizing of the foundation is based on the knowledge of the applied loads and the soil resistance. One of the empirical but standardized methods, and also one of the most widely used in the world today for soil knowledge, is the STP (Standart Penetration Test) type, which stands for Standard Penetration Testing. This survey has as principle to analyze the penetration of a metal rod after blows of a weight that is loose of a certain height. The amount of blows needed to penetrate a certain depth represents the resistance of this soil, the NSPT. The survey also allows understanding of the soil layers, taking into account that it collects samples from each layer. It is still possible to analyze the torsion resistance. However, the assay is largely performed manually, and the standard weight is manually lowered from one height, which allows, according to studies conducted, a significant error in this fall. The objective of this work is to evaluate the degree of influence of this error in the ideal result of the survey, considering that an imprecise result will have consequences in the dimensioning of the foundations. In this respect, two situations can occur: The foundation is larger than the ideal (causing an unnecessary cost) or smaller, which can cause pathologies in the building, or even lead to its collapse.

**Keywords:** SPT, Soils, Poll

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Esquema apresentado por Kovacs e Salomone (1982) .....                        | 22 |
| Figura 2 - Primeiro arranha-céu do Brasil, com 30 andares, o Edifício Martinelli.....   | 23 |
| Figura 3: Exemplo de possíveis problemas no solo .....                                  | 25 |
| Figura 4: Torre de Pisa, Itália. ....                                                   | 27 |
| Figura 5: Prédio com recalque na praia de Santos.....                                   | 28 |
| Figura 6: Fundação superficial (sapata).....                                            | 30 |
| Figura 7: Fundação profunda (tubulão) .....                                             | 31 |
| Figura 8: Equipamento de sondagem SPT .....                                             | 33 |
| Figura 9: Ilustração de um SPT .....                                                    | 34 |
| Figura 10: Realização da sondagem SPT .....                                             | 35 |
| Figura 11: Resultados de um furo de sondagem SPT.....                                   | 37 |
| Figura 12: Planta com a localização dos furos de sondagem .....                         | 38 |
| Figura 13: Simulação numérica de martelo sobre uma haste .....                          | 40 |
| Figura 14: Logo FOUNPROJECT .....                                                       | 44 |
| Figura 15: Tabela original de Godoy (1972) interpolada .....                            | 46 |
| Figura 16: Fatores de Forma (De Beer).....                                              | 47 |
| Figura 17: Tabela original de Alonso (1943) interpolada .....                           | 48 |
| Figura 18: Fatores de capacidade de carga de Prahtl- Reissner e Caquot-Kérisel (1)..... | 49 |
| Figura 19: Fatores de capacidade de carga de Prahtl- Reissner e Caquot-Kérisel (2)..... | 50 |
| Figura 20: Sapata isolada em planta e em corte .....                                    | 51 |
| Figura 21: Comprimento da ancoragem em função do diâmetro .....                         | 52 |
| Figura 22: Tabela de dimensionamento de Décourt-Quaresma.....                           | 53 |
| Figura 23: Bloco e estacas vistos em planta e corte .....                               | 54 |
| Figura 24: Parâmetros de resistência do solo .....                                      | 54 |
| Figura 25: Tela inicial FOUNPROJECT .....                                               | 58 |
| Figura 26: Sobre o programa - FOUNPROJECT .....                                         | 59 |
| Figura 27: Instruções de uso FOUNPROJECT (apenas parcial).....                          | 60 |
| Figura 28: Política de privacidade FOUNPROJECT .....                                    | 61 |
| Figura 29: Sobre o desenvolvedor - FOUNPROJECT .....                                    | 62 |
| Figura 30: Dados de entrada do SPT – FounProject .....                                  | 63 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31: Tela de escolha do tipo de Fundação Superficial.....        | 64 |
| Figura 32: Tela de dimensionamento de uma Sapata Isolada .....         | 65 |
| Figura 33: Tela de escolha do tipo de Fundação Profunda.....           | 70 |
| Figura 34: Tela de dimensionamento de uma Estaca Escavada .....        | 71 |
| Figura 35: Variação da energia de acordo com a altura de queda.....    | 76 |
| Figura 36: Valores do NSPT corrigidos pela variação da eficiência..... | 77 |
| Figura 37: Variação do consumo de concreto, eficiência > 100% .....    | 78 |
| Figura 38: Variação do consumo de concreto, eficiência < 100% .....    | 79 |
| Figura 39: Consumo de concreto Sapata Isolada.....                     | 80 |
| Figura 40: Consumo de concreto Estaca Escavada .....                   | 80 |

## SUMÁRIO

|            |                                                   |           |
|------------|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                           | <b>14</b> |
| <b>1.1</b> | <b>CONTEXTO .....</b>                             | <b>15</b> |
| <b>1.2</b> | <b>PROBLEMA.....</b>                              | <b>18</b> |
| 1.2.1      | QUESTÕES DA PESQUISA .....                        | 18        |
| 1.2.2      | OBJETIVOS DA PESQUISA.....                        | 19        |
| 1.2.3      | DELIMITAÇÃO .....                                 | 19        |
| <b>2.</b>  | <b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                | <b>20</b> |
| <b>2.1</b> | <b>HISTÓRIA DO SPT NO BRASIL E NO MUNDO .....</b> | <b>20</b> |
| <b>2.2</b> | <b>AS FUNDAÇÕES.....</b>                          | <b>24</b> |
| 2.2.1      | FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS .....                      | 30        |
| 2.2.2      | FUNDAÇÕES PROFUNDAS .....                         | 31        |
| <b>2.3</b> | <b>O SPT .....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>3.</b>  | <b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>                   | <b>41</b> |
| <b>3.1</b> | <b>ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....</b>               | <b>41</b> |
| 3.1.1      | ENERGIA DO SPT SEGUNDO ODEBRECHT (2003).....      | 42        |
| <b>3.2</b> | <b>FOUNPROJECT .....</b>                          | <b>44</b> |
| 3.2.1      | FUNDAÇÃO SUPERFICIAL .....                        | 45        |
| 3.2.2      | FUNDAÇÃO PROFUNDA .....                           | 53        |
| <b>4.</b>  | <b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b> | <b>56</b> |
| <b>4.1</b> | <b>FOUNPROJECT.....</b>                           | <b>57</b> |
| 4.1.1      | TELA INICIAL DE ACESSO FOUNPROJECT .....          | 58        |
| 4.1.2      | SOBRE O PROGRAMA .....                            | 59        |
| 4.1.3      | INSTRUÇÕES DE USO.....                            | 60        |

|       |                                                     |     |
|-------|-----------------------------------------------------|-----|
| 4.1.4 | POLÍTICA DE PRIVACIDADE .....                       | 61  |
| 4.1.5 | SOBRE O DESENVOLVEDOR .....                         | 62  |
| 4.1.6 | ENTRADA DE DADOS DO SPT .....                       | 63  |
| 4.1.7 | FUNDAÇÃO SUPERFICIAL .....                          | 64  |
| 4.1.8 | FUNDAÇÃO PROFUNDA .....                             | 70  |
| 4.2   | EFICIÊNCIA DO SPT .....                             | 75  |
| 5.    | CONCLUSÕES .....                                    | 81  |
|       | REFERÊNCIAS .....                                   | 84  |
|       | ANEXO A - SPT PADRÃO DO ESTUDO.....                 | 88  |
|       | ANEXO B.1 - MANUAL DO FOUNPROJECT .....             | 89  |
|       | ANEXO B.2 - MANUAL DO FOUNPROJECT .....             | 90  |
|       | ANEXO B.3 - MANUAL DO FOUNPROJECT.....              | 91  |
|       | ANEXO B.4 - MANUAL DO FOUNPROJECT.....              | 92  |
|       | ANEXO B.5 - MANUAL DO FOUNPROJECT.....              | 93  |
|       | ANEXO B.6 - MANUAL DO FOUNPROJECT.....              | 94  |
|       | ANEXO B.7 - MANUAL DO FOUNPROJECT.....              | 95  |
|       | ANEXO C.1 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 95CM).....   | 96  |
|       | ANEXO C.2 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 90CM).....   | 97  |
|       | ANEXO C.3 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 85CM).....   | 98  |
|       | ANEXO C.4 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 75CM).....   | 99  |
|       | ANEXO C.5 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 65CM).....   | 100 |
|       | ANEXO C.6 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 60CM).....   | 101 |
|       | ANEXO C.7 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 55CM).....   | 102 |
|       | ANEXO C.8 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 95CM) ..... | 103 |
|       | ANEXO C.9 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 90CM) ..... | 104 |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ANEXO C.10 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 85CM) .....</b> | <b>105</b> |
| <b>ANEXO C.11 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 75CM) .....</b> | <b>106</b> |
| <b>ANEXO C.12 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 65CM) .....</b> | <b>107</b> |
| <b>ANEXO C.13 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 60CM) .....</b> | <b>108</b> |
| <b>ANEXO C.14 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 55CM) .....</b> | <b>109</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa está fundamentada na área de engenharia de fundações, mais especificamente aplicada no estudo do dimensionamento destes elementos com base nas informações que são fornecidas ao Engenheiro Civil. É fato conhecido da responsabilidade que este profissional assume quando assina uma anotação de responsabilidade técnica – ART. Sabendo desta responsabilidade, o autor admite extremamente necessário que as informações que o mesmo recebe para seus dimensionamentos sejam o mais precisos possíveis, pois do contrário, mesmo que o método utilizado para o dimensionamento esteja adequado e correto, a aplicação em campo estará comprometida, podendo custar complicações futuras.

Dentro de fundações, serão abordados aspectos de solos, e de métodos de um correto reconhecimento do mesmo, sua resistência, seu grau de compactação, sua resistência a torção e suas camadas constituintes. Dentro dos métodos de sondagem mais utilizados no Brasil e no mundo atualmente, será estudado com maior nível de detalhes sobre a sondagem tipo SPT (*Standart Penetration Test* - Ensaio de Penetração Padrão), ou sondagem de reconhecimento de solo aplicada ao projeto de fundações.

Segundo Caputo (1988), um dos maiores riscos que se pode correr no campo de Engenharia de Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação.

Alguns estudos que serão apresentados no decorrer deste trabalho apontam para possíveis falhas que podem ocorrer durante a execução deste tipo de sondagem. De acordo com os autores destes estudos, apesar de muito simples e de fácil execução, o SPT pode apresentar erros em seu resultado final, o NSPT. Basicamente, o peso padrão que deve cair de uma altura específica, e com uma recomendação específica da norma, pode eventualmente cair de uma altura diferente (maior ou menor) do especificado. Assim sendo, entende-se por consequência que os números deste método podem apresentar algumas falhas. Logo, será analisado da influência do erro na altura efetiva de queda do martelo padrão da sondagem SPT nas dimensões finais das fundações com base nas orientações da norma vigente.

## 1.1 CONTEXTO

Durante uma aula de fundações da qual o autor deste trabalho estava presente, foi apresentado à turma pelo professor Me. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs o procedimento para execução da sondagem de reconhecimento de solo mais utilizada no mundo: o SPT. Imediatamente foi possível compreender os motivos por essa alta usabilidade: sua facilidade de execução, e seu baixo custo. Apesar de simples do ponto de vista executivo, esta sondagem foi por muitos anos (e continua sendo) muito utilizada para que seja possível conhecer o grau de compactação do solo, bem como de suas camadas constituintes.

Neste momento pude fazer um comparativo com minha história. Sou de origem muito simples, filho de pais agricultores e que teve a oportunidade de crescer em uma localidade chamada Sítio Bindé, zona rural de um pequeno município chamado Campo Novo, distante cerca de 500 km da capital Porto Alegre - RS. Quando criança, ajudava meu pai na roça a fazer o que chamávamos de piquetes (pequenos postes de madeira cercados com arame, para soltar o gado no pasto). Para isso, tínhamos que cravar estacas de madeira no solo, aplicando golpes com auxílio de uma marreta, de determinado peso. Percebia eu, com meu pequeno conhecimento, que algumas estacas cravavam facilmente, enquanto outras necessitavam de vários golpes para atingir a mesma profundidade no solo. Anos mais tarde, durante o curso de graduação em Engenharia Civil, descobri que existe um método utilizado para analisar a resistência do solo, e posteriormente dimensionar fundações de grandes e pequenas edificações que nada mais é do que um aprimoramento do que eu já fazia com 8 anos de idade: Cravar estacas no solo observando a dificuldade de penetração. Claro que este segundo, normatizado.

A praticidade de execução deste método é tamanha que ao mesmo tempo que é muito utilizada, pode possuir algumas falhas em sua execução. No final de um dia, quando meu pai estava cansado, eram necessários mais golpes para a estaca atingir a mesma profundidade. Claro, o peso padrão (marreta) estava caindo de uma altura menor. Assim também o SPT. Se o peso padrão não cair sempre da mesma altura (que está contido na norma) podem haver imprecisões no resultado desta sondagem, e como consequência, as fundações também podem ser mal dimensionadas.

No Brasil a norma regulamentadora atual desta sondagem é a NBR 6484 - “Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio”, a qual teve sua última revisão publicada em fevereiro de 2001, e está novamente em período de revisão em 2019 (ABNT, 2001).

Segundo Odebrecht (2003 p. 27), Jardim, Machado e Jorge (2017 p. 7) e Santana e Danziger (2016, p.1) o SPT é o tipo de sondagem de solo mais utilizado no mundo. De acordo com estes autores, vem sendo utilizado desde meados de 1902. Tem por principal objetivo verificar o índice de compactação do solo, e suas camadas constituintes. Através de um processo simples, um martelo com determinado peso é lançado de determinada altura sobre uma haste apoiada no solo. A queda do martelo sobre a haste gera uma energia, e provoca sua cravação. A sondagem tipo SPT analisa esta cravação de acordo com o número de golpes que são necessários para perfurar determinada profundidade. O resultado final obtido pelo ensaio é o NSPT, número que é utilizado para dimensionar e definir o melhor tipo de fundação para determinado solo e cargas atuantes.

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001), o peso padrão do martelo deve ser de 65 kgf, e deve cair de uma altura de 75 cm sobre uma haste metálica de diâmetro nominal interno de 25 mm. O índice NSPT é o número de golpes que são necessários para cravação de 30 cm do amostrador no solo, após uma cravação inicial de 15 cm. O NSPT pode variar de acordo com a compactação, o tipo de solo e a profundidade do amostrador. A sondagem é interrompida normalmente quando for atingido o impenetrável, normalmente rocha, ou quando for atingida a profundidade solicitada pelo engenheiro de fundações.

Segundo Odebrecht (2003 p. 53), durante a execução da sondagem há uma transformação de energia potencial (quando o martelo está posicionado à determinada altura da haste) em energia cinética (quando está em queda e atinge a haste). Neste processo de transformação podem ocorrer perdas, devido ao atrito que é gerado pela pelos próprios equipamentos (corda, roldanas, tripé), ou pela ação humana, por não soltar a corda totalmente imediatamente após o início da queda, por exemplo, bem como do cansaço pelo esforço repetitivo ao final de um dia de várias sondagens.

“Os sistemas de elevação do martelo podem ser divididos basicamente em dois grupos: o manual e o mecanizado. O manual é o sistema mais frequentemente utilizado na prática brasileira, onde dois auxiliares de sondagem levantam o peso, com auxílio de uma corda, que passa por uma roldana fixa posicionada na parte superior do tripé de sondagem.” (ODEBRECHT, 2003)

Seguindo este raciocínio apresenta-se o objetivo deste trabalho. Em muitos casos a altura de queda do martelo está fora destes limites estabelecidos pela norma, mesmo considerando uma margem de erro. Este estudo será embasado nesta faixa de erro, e qual sua relevância nas dimensões finais da fundação que será executada. Analisar também, se de fato um erro de 10 cm, por exemplo, é muito ou pouco impactante nestes aspectos.

Segundo Santana e Danziger (2016, p.7) “Essa significativa dispersão nos valores de  $E_i$  é consequência, principalmente, da grande variação na altura de queda do martelo SPT, demonstrando a necessidade de revisão nas atuais práticas de controle de altura de queda dos ensaios brasileiros”.

Para isto, existem alguns estudos que demonstram que existe um erro na altura deste martelo além dos limites permitidos na norma, em muitos casos podendo chegar a mais de 50% dos golpes, como relatado a seguir.

“[...] os resultados demonstram que mesmo ensaios SPT realizados pela mesma equipe de sondagem, em condições semelhantes, podem conduzir a valores de NSPT distintos, em função, principalmente, da significativa diferença de energia transferida à composição de hastes. É provável que esse aspecto se agrave quando são comparadas equipes que utilizam práticas e equipamentos diferentes.” (SANTANA; DANZIGER, 2016)

Em um estudo realizado por Santana e Danziger (2016, p.7), apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COMBRANSEG 2016, intitulado “Monitoramento da Energia em Ensaios SPT Realizados no Estado do Rio de Janeiro”, foram analisados a aplicação de 373 golpes com o auxílio de uma câmera de alta velocidade, com capacidade de registro de até 1000 quadros por segundo. Os resultados deste estudo revelaram que mais da metade dos golpes estavam fora dos limites da norma, variando de 67 a 87 cm.

Os dados deste artigo serão utilizados como referência de um erro comprovado. É possível que este erro em outras sondagens seja maior ou menor, mas é necessário um dado inicial real de campo para um comparativo justo do método.

Utilizando estas informações, será realizado um estudo do impacto destas diferenças nas dimensões das fundações, avaliando também o custo que este erro pode ocasionar bem como a possibilidade de risco ao responsável técnico e principalmente à edificação, caso as fundações sejam subdimensionadas por erro na sondagem. São dois extremos: Se a fundação for superdimensionada, existe um custo adicional desnecessário. Por outro lado, caso haja um subdimensionamento, o responsável técnico pode ser responsabilizado por futuras patologias na edificação, ou mesmo por seu completo colapso.

## **1.2 PROBLEMA**

Nos equipamentos manuais, que não possuem controle na altura de queda do peso padrão do SPT, que são a grande maioria dos equipamentos utilizados no país, é possível que este peso não esteja caindo de uma altura estabelecida dentro dos limites toleráveis pela NBR 6484 (ABNT, 2001). Consequentemente, a energia aplicada pode não estar correta e o resultado deste ensaio, o NSPT, pode ser um número impreciso. Assim, busca-se saber a influência deste erro nas dimensões finais das fundações projetadas utilizando este ensaio, e qual o custo financeiro envolvido nesta falha.

### **1.2.1 QUESTÕES DA PESQUISA**

Após definição do problema, foi definida a questão geral principal de pesquisa:

- Um erro na altura de queda do peso padrão durante a execução em campo da sondagem de solo tipo SPT é significativa no resultado final do dimensionamento das fundações?

A partir da questão principal surgiram as secundárias

- O que pode ser feito para evitar este tipo de erro?
- Qual a confiabilidade do método no dimensionamento das fundações, e qual a segurança ao profissional que está assumindo a responsabilidade técnica?
- Quais as consequências que podem surgir por um dimensionamento incorreto das fundações em função de uma informação incorreta dos dados do NSPT?

## 1.2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar qual o risco da falta de controle durante a execução da sondagem SPT na estabilidade final da edificação, qual o custo muitas vezes desnecessário pela execução de fundações com dimensões maiores do que o necessário.

### 1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar as orientações e falhas da NBR 6484 (ABNT, 2001);
- Revisar a bibliografia sobre a sondagem SPT;
- Revisar a bibliografia sobre de fundações superficiais e profundas;
- Estudar trabalhos de outros autores sobre o assunto;
- Pesquisar normas técnicas relacionadas ao tema;
- Buscar dados com empresas que executem este tipo de sondagem;

## 1.2.3 DELIMITAÇÃO

O presente trabalho fará o desenvolvimento de um programa em formato *Excel*, intuitivo, capaz que dimensionar fundações de forma rápida e automatizada, para que seja possível analisar com precisão as consequências da variação do NPSP no tamanho final da fundação, bem como consumo de concreto. Esse programa se faz necessário para otimização do tempo, bem como para que seja possível dimensionar um grande número de fundações com facilidade. Assim sendo, será viável fazer comparativos gráficos quanto a eficácia da sondagem abordada neste projeto de pesquisa. Este programa também poderá ser utilizado por outros acadêmicos que desejam alguma ferramenta gratuita e prática para comparar com o resultado de seus dimensionamentos, ou aplicar métodos para análise de fundações.

O foco principal desta pesquisa está relacionado ao SPT, em analisar suas vantagens e desvantagens, sua eficiência e alguns possíveis erros e suas consequências, caso sejam ou não significativas. Não serão abortados neste trabalho portanto outros métodos de dimensionamento de fundações ou reconhecimento de solo.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo serão abordados referências e temas já desenvolvidos e o que já é conhecido sobre a sondagem SPT, em especial seus aspectos positivos e negativos, bem como o aumento de sua evolução com a história.

Os próximos tópicos serão referências históricas da evolução deste método durante os últimos anos, até sua chegada e utilização no Brasil. Serão apresentados alguns exemplos de seus primeiros indícios de aprimoramento, bem como seus primeiros idealizadores.

Serão apresentados também a classificação das fundações e as características de cada tipo de classe de acordo com a NBR. Destes aspectos, também serão analisados alguns casos de patologias ocorridas em fundações de edificações que mais se tornaram conhecidos, que tem como causa provável um conhecimento incorreto do solo ou das cargas atuantes. De qualquer maneira, é possível tratar-se de um incorreto dimensionamento das fundações.

### **2.1 HISTÓRIA DO SPT NO BRASIL E NO MUNDO**

Odebrecht (2003 p. 33) indica que o primeiro relato do SPT é da data de 1902, quando o Coronel Charles R. Grow utilizou um peso de 50 kg de massa para cravar em um furo de sondagem, um amostrador de 25 mm de diâmetro que ele mesmo havia desenvolvido. Após a cravação deste amostrador foi possível a coleta de solo que possibilitou uma melhor descrição de suas propriedades e características.

Segundo Odebrecht (2003 p. 32), “A história do ensaio SPT tem sido relatado tanto na literatura internacional (Fletcher, 1965; Kovacs et al, 1981; Broms e Flodin, 1988; entre outros) como nacional (Vargas, 1989; Teixeira, 1933 e Belincanta1, 1944)”. De acordo com o autor, esta sondagem passou por um grande desenvolvimento até sua primeira tentativa de normatização, no final da década de 50.

Para Carvalho (2012) a história do SPT iniciou em 1902 e pode ser dividida em quatro fases: A primeira 1902 a 1920, a segunda de 1927 a 1940, a terceira de 1940 a 1970, e a quarta, a partir de 1977.

“A história do SPT pode ser dividida em quatro fases: a primeira, que vai de 1902 até meados dos anos 1920, quando se inicia a utilização do amostrador; a segunda, começando em 1927 e indo até o final da década de 1940, com a publicação do livro de Terzaghi & Peck (1948); a terceira que se inicia com a referida publicação e se estende até a segunda metade dos anos 1970, período marcado pelas primeiras tentativas oficiais de normatização do ensaio, abrindo caminho para a quarta fase, a partir de 1977, quando se iniciam as preocupações com a qualidade dos dados e as técnicas de interpretação.” (CARVALHO, 2012)

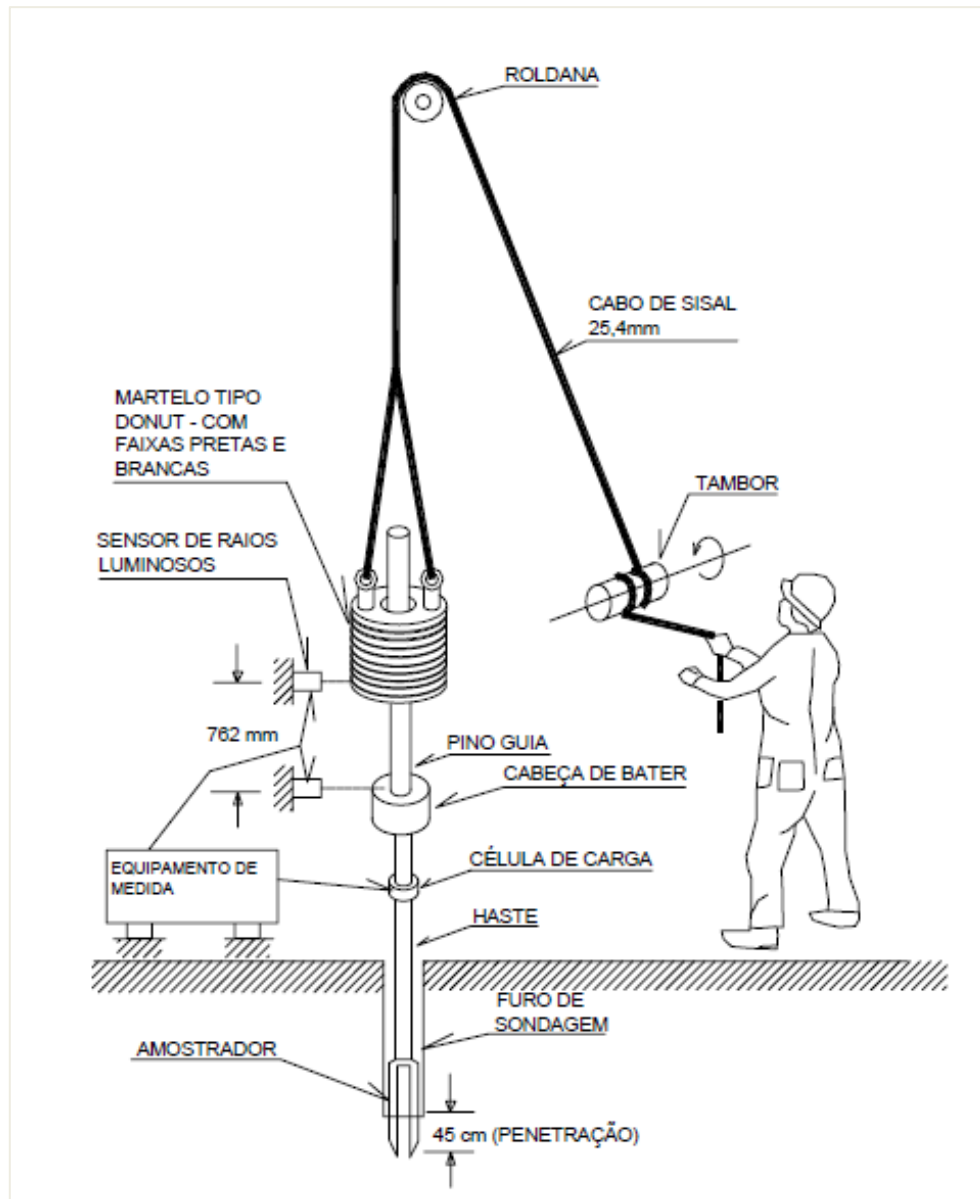
Carvalho (2012) complementa que o ano de 1945 foi um marco para a história do SPT. De acordo com o autor, foi o ano em que houve a substituição das hastes de 25,4 mm (32 N/m) por hastes mais rígidas, de 56 N/m. Carvalho (2012) complementa ainda que a publicação do livro *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Mecânica dos Solos na Prática de Engenharia, em tradução livre) em 1948 foi outro marco profundo na história do SPT. Isto por que neste livro foram discutidas e apresentadas as primeiras correlações entre a resistência à penetração e compacidade de areias. O autor assume que a obra publicada por Terzaghi e Peck (1948) também agregou valiosa contribuição à utilização mais sistemática e racional do SPT.

“A própria evolução do SPT associada a sua simplicidade, robustez e facilidade de aplicação dos seus resultados, garantiram, ao longo do tempo, a sua utilização de forma muito acentuada.” (CAVALCANTE 2012).

“A década de setenta foi de grande importância para o SPT, uma vez que nessa época, sobretudo nos Estados Unidos, surgiram os primeiros trabalhos de pesquisa com forte base científica para uma avaliação mais rigorosa dos fatores que tem interferência, no ensaio. Neste aspecto a questão da transferência de energia passou a ter um papel de destaque”. (CAVALCANTE 2012).

A figura 1 apresentada a seguir, demonstra um esquema inicial de um dos primeiros modelos do SPT moderno. Este esquema foi publicado por Kovacs e Salomone, em 1982. Utilizava uma técnica bastante conhecida na navegação, em veleiros, conhecida como *cathead* (grande viga de madeira, em tradução livre). Embora rústico e simples, aproxima-se com clareza em vários aspectos do modelo de execução do SPT atual. Consistia no levantamento de um martelo com auxílio de um cabo suspenso por uma roldana e tracionado por um tambor com ação humana. O objetivo era provocar a queda deste martelo de determinada altura a fim de provocar a cravação do amostrador no furo de sondagem. Esta figura foi originalmente publicada em inglês por seus autores, e posteriormente atualizada e traduzida para o português por Odebrecht (2003) conforme indicado a seguir.

Figura 1: Esquema apresentado por Kovacs e Salomone (1982)



Fonte: Odebrecht (2003 p. 43)

Segundo Peixoto (2001), a falta de padronização provocou o surgimento de diversos equipamentos e procedimentos executivos. Como consequência, os resultados também eram distintos, e tornava-se difícil a correção com outros parâmetros. Sendo assim, esta sondagem em sua história antes da padronização passou por um período de descrédito.

Segundo Cavalcante (2012), no Brasil há uma diversidade de equipamentos para realização deste ensaio, e em âmbito internacional a diversidade é ainda maior. De acordo com o autor, esta diversidade traz consigo um perigo na adoção de métodos baseados em experiências estrangeiras, quando não são observadas as características locais.

Em sua tese de doutorado, Odebrecht (2003 p. 37) estima que o início da utilização do ensaio SPT no Brasil ocorreu na década de 30. Segundo o autor, até esta data as características do solo em nosso país eram determinadas apenas por exame tátil-visual. Uma técnica arriscada, se considerado que em 1922 iniciou-se em São Paulo a construção daquele que seria o primeiro arranha-céu do Brasil, com 30 andares, o Edifício Martinelli, que teve sua conclusão em 1934 (WIKIPEDIA, 2018).

Figura 2 - Primeiro arranha-céu do Brasil, com 30 andares, o Edifício Martinelli.



Fonte: São Paulo Antiga (2016)

## 2.2 AS FUNDAÇÕES

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através de sua norma regulamentadora NBR 6122 (ABTN, 2010), define os procedimentos para realização de projeto e execução de fundações. Esta norma contempla informações sobre a investigação de solo, e aponta que para toda edificação deve ser realizada ao menos a investigação de solo tipo SPT, com objetivo de determinar a posição do lençol freático, classificar o solo, e determinar o índice de resistência à penetração, o NSPT.

‘A necessidade de o homem trabalhar com os solos, encontra sua origem nos tempos mais remotos, podendo-se mesmo afirmar ser tão antiga quanto a civilização. Recordem-se, entre outros, os problemas de fundações e de obras de terra que terão surgido quando das grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e a estrada do Império Romano.’ (CAPUTO, 1988)

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), uma fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Segundo este mesmo autor, o custo destes elementos é variável, e depende das condições do solo e das cargas aplicadas, e pode variar de 3 a 6% do custo total da obra. Porém em casos especiais este percentual pode aumentar, podendo chegar a 15% do custo global. A diferença está na concepção do projetista da melhor solução para a estrutura. Fundações diferentes podem resistir da mesma forma aos esforços da edificação e resistência do solo, porém seus custos podem ser bastante distintos. De qualquer maneira, estes elementos representam um percentual pequeno do custo da obra, tendo em vista seu papel na edificação. Economizar demasiadamente nesta etapa da construção pode não ser a melhor alternativa.

Seu comportamento a longo prazo pode ser afetado por inúmeros fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015)

Belincanta e Ferraz (2000) comentam sobre a importância das investigações em campo antes da realização de qualquer concepção ou dimensionamento de fundações, considerando o conhecimento do solo fator fundamental para o início da verificação e análise da transmissão das tensões da edificação ao solo.

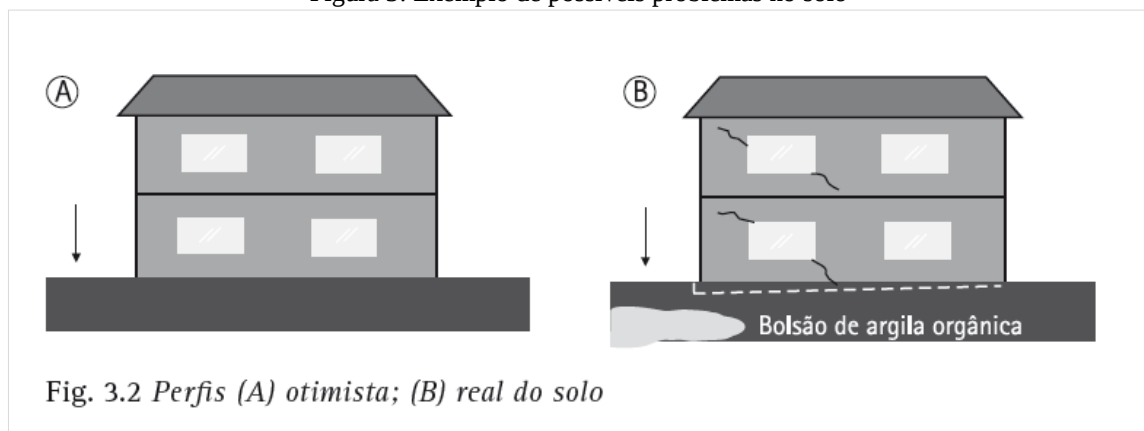
Não há como desenvolver projetos de fundações e de geotecnia em geral sem investigações de campo. Nesse contexto, a sondagem de simples reconhecimento associada ao ensaio do tipo SPT (Standard Penetration Test), com sua simplicidade e robustez, tem se mostrado suficientemente eficiente, tornando-se não só no seu país de origem, mas também no Brasil, uma sondagem/ensaio de uso corrente nas obtenções de parâmetros necessários a tais projetos. (BELINCANTA; FERRAZ, 2000)

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), “A investigação do subsolo é a causa mais frequente de problemas de fundações. Na medida em que o solo é o meio que vai suportar as cargas, sua identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais à solução de qualquer problema”.

No Brasil, o programa preliminar é normalmente desenvolvido com base em ensaios SPT (ver ABNT NBR 6484/2001). O programa complementar depende das condições geotécnicas e estruturais do projeto, podendo envolver tanto ensaios de campo (cone, piezocone, pressiómetro, palheta, sísmica superficial etc.) como de laboratório (adensamento, triaxiais, cisalhamento direto, entre outros). (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015)

A figura 3 apresentada a seguir exemplifica uma possível consequência da falta de investigação de solo. A falta de conhecimento das camadas constituintes, e uma suposta experiência do responsável técnico podem levar a futuras patologias na edificação, ou mesmo em seu colapso. No exemplo da figura, existe uma expectativa de uma provável condição do solo, e com base nisso um possível dimensionamento das fundações com base em experiências outras obras em que foi obtido sucesso. Porém, a condição real do solo pode ser outra, conforme indicado. Assim sendo, dimensionamento inadequado destes elementos resulta em problemas estruturais futuros em decorrência de recalques das fundações.

Figura 3: Exemplo de possíveis problemas no solo



Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015)

Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) apontam que a ocorrência de patologias em obras civis tem sido observada e reportada com frequência na prática nacional quanto internacional. Segundo os autores, as patologias são decorrentes das incertezas e riscos inerentes à construção e vida útil das fundações, e, observando o aparecimento destes problemas ou mau desempenho das mesmas, fica clara a importância de serem evitadas. “São conhecidos casos em que problemas em fundações provocaram a falências das empresas envolvidas”.

“A rigor, o problema de colapso em fundações deveria ocorrer somente em solos naturais; solos potencialmente colapsíveis poderiam ser diagnosticados por meio de ensaios simples e rápidos, como índices físicos e limites de Atterberg”. (TEIXEIRA, 1997).

Alguns casos clássicos, como o da Torre de Pisa e o da Cidade do México, fizeram a fama de determinados monumentos e locais, tendo sido extensivamente estudados e apresentados em publicações de divulgação e técnicas. No Brasil, as edificações de Santos (São Paulo) merecem menção especial pelos desaprumos apresentados, e têm referências em inúmeras publicações especializadas. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015)

De acordo com Cintra, Aoki e Abiero (2014), podemos definir o recalque como sendo o deslocamento vertical para baixo, da base da sapata em relação a uma referência fixa. A norma brasileira permite pequenos recalques, desde que estejam dentro de limites definidos e calculados.

Os solos, sendo produto da natureza, apresentam geralmente grande variabilidade tanto de ocorrência como de propriedades. Obras atuais tem sua solução calculada a partir da adoção de valores de propriedades representativas dos materiais envolvidos no problema. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015)

As imagens a seguir são alguns exemplos que tiveram maior destaque em questão de patologias que podem ocorrer em fundações. Seja por colapso do solo, erro de projeto, cargas excessivas ou outro problema que possa ocorrer, quando um problema desta magnitude se apresenta, pode trazer consigo altos custos para uma adequada solução. Na maioria dos casos, são necessários vários macacos hidráulicos para fazer o levantamento da edificação, e posteriormente o reforço das fundações.

A imagem 4 retrata a Torre de Pisa, na Itália. De acordo com Cintra et al. (2014), o solo desta edificação que está situado sob a base da torre apresenta camadas de areia e argila. “Em planta, ao longo dessa área circular, o comportamento do maciço geotécnico é heterogêneo, pois exhibe características de maior deformabilidade na região sul, o que não foi identificado antes da construção”. Segundo os autores, no ano de 1990 a inclinação total atingia um ângulo de 5,5 graus, e um desaprumo horizontal de 4,5 metros, com previsão de tombamento nos próximos anos. Neste momento a torre foi interditada, e iniciou-se um processo intenso de correção, que só foi concluído em 2001.

Sua construção, iniciada em 1173, deu errado desde o início. Quando ainda contava com apenas três andares, o frágil solo arenoso da região começou a ceder de um lado. Sua construção foi retomada somente em 1272. Para contornar a inclinação, os engenheiros da época tiveram a “brilhante” ideia de construir cada um dos outros cinco andares da torre um pouco mais alto no lado que estava afundando. A ideia era de que apesar de torta, parecesse normal quando completa. (REVISTA GALILEU, 2018)

O peso aumentou daquele lado, fazendo com que afundasse o solo ainda mais. Um erro que séculos depois é comemorado por quem trabalha com turismo nessa região Toscana. (REVISTA GALILEU, 2018)

Figura 4: Torre de Pisa, Itália.



Fonte: Dicas de Arquitetura (2015)

A figura 5 representada abaixo, demonstra um dos vários prédios que tiveram problemas de recalque excessivo nas fundações na Praia de Santos, SP, muitos deles visíveis a olho nu. Muitos deles foram amplamente divulgados, com notícias nos vários meios de comunicação.

Quando esses prédios são suficientemente distantes uns dos outros, os recalques absolutos são relativamente homogêneos, da ordem de 30 cm, mas sem desaprumo. Todavia, uma maior proximidade entre dois deles provoca um desaprumo visível a olho nu em ambos. Na maioria das vezes, ocorre um desaprumo que se estabiliza com o tempo, mas, em alguns casos, o monitoramento mostra uma tendência de evolução contínua da inclinação. (CINTRA et al., 2014)

São edifícios altos construídos até a década de 1970, com fundações em radiê na camada superficial de areia compactada, com espessura em torno de 10 m, que é sobreposta a uma camada de argila marinha mole com espessura de aproximadamente 30 m. (CINTRA et al., 2014).

Figura 5: Prédio com recalque na praia de Santos



Fonte: Cimento Itambé (201?)

“Os solos, sendo produto da natureza, apresentam geralmente grande variabilidade tanto de ocorrência como de propriedades. Obras atuais têm sua solução calculada a partir da adoção de valores de propriedades representativas dos materiais envolvidos no problema” (MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID 2015).

De acordo com Velloso e Lopes (2012), é importante também analisar a interação solo-fundação, com o objetivo de analisar os deslocamentos reais destes elementos.

“Uma análise de interação solo-fundação tem por objetivo fornecer os deslocamentos reais da fundação - e também da estrutura, se esta estiver incluída na análise - e seus esforços internos. Esses esforços podem ser obtidos diretamente pela análise da interação, ou, indiretamente, por meio das pressões de contato. As pressões de contato são as pressões na interface estrutura-solo.” (VELLOSO E LOPES 2012)

Caputo (1988) afirma que os estudos para projeto e execução de fundações requerem prévias investigações geotécnicas. De acordo com o autor, tanto mais é necessário conhecer o solo quanto maior for a obra.

Alonso (1991) em sua obra sobre controle e previsão de fundações, indica que as fundações devem ser definidas em projeto em função de várias características específicas de cada obra e de cada solo.

“É por esta razão que duas estruturas com a mesma arquitetura, mesmos materiais e mesmas cargas não são, necessariamente, iguais quando se trata de suas fundações. Em fundações, é perigoso generalizar-se. Cada caso é um caso, que requer um estudo próprio que considere todas suas condicionantes e dados disponíveis.” (ALONSO 1991)

Segundo Terzaghi e Peck (1962) é de fundamental importância em um projeto de fundações, determinar a tensão máxima que pode ser aplicada ao solo sem lhe causar ruptura, e sem ultrapassar o recalque máximo permitido.

Segundo Teixeira (1997), recalques por colapso tem sua origem em uma combinação de pressão com saturação. O autor complementa que “interessa fundamentalmente a relação carga-recalque no comportamento das fundações em solos colapsíveis, quando ocorre a inundação do terreno na carga de trabalho”.

Segundo a ABNT através de sua norma NBR 6122 (ABNT, 2010), as fundações podem ser divididas em superficiais e profundas, conforme subdivididas a seguir.

### 2.2.1 FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Segundo a NBR 6122 (ABTN, 2010), fundação superficial, ou rasa, ou direta, são os elementos que transferem a carga ao terreno pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Também de acordo com esta norma regulamentadora, estão incluídos nesta classe de fundações as sapatas (figura 6), os blocos, os radier, sapatas associadas e corridas e vigas de fundação.

Figura 6: Fundação superficial (sapata)



Fonte: PEREIRA (2017)

De acordo com NBR 6122 (ABTN, 2010), as sapatas são elementos de concreto armado dimensionadas de forma que as tensões sejam absorvidas em sua maioria pela armadura, e sua base em planta normalmente é quadrada, retangular ou trapezoidal. O bloco por sua vez, de acordo com a norma, é o elemento de fundação superficial de concreto, dimensionadas de forma que as tensões sejam absorvidas somente pelo concreto, sem presença de armadura.

A NBR indica ainda que o radier é o elemento que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos. A sapata associada, por sua vez, é o elemento de transição comum a vários pilares cujos centros nem sempre estão alinhados entre si, diferente da viga de fundação, na qual estão alinhados. A norma complementa ainda que a sapata corrida é o elemento que está sujeito à ação de uma carga distribuída (como uma parede, por exemplo).

## 2.2.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Conforme orientações da NBR 6122 (ABTN, 2010), fundação profunda é o elemento que transmite a carga ao terreno pela base, ou seja, por sua resistência de ponta, ou por sua superfície lateral, denominada resistência de fuste, ou a mais comum, que é a combinação das duas. Caracterizada também por estar assentada em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 metros. Segundo esta norma, estão incluídos nesta classe de fundações as estacas, os tubulões (figura 7) e os caixões.

Figura 7: Fundação profunda (tubulão)



Fonte: DALDEGAN (2017)

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), “As fundações profundas apresentam peculiaridades que as tornam diferentes dos demais elementos das edificações. A elaboração do projeto está diretamente relacionada às características da execução de cada sistema”.

Uma estaca nem sempre é executada conforme os requisitos definidas no projeto, pois depende da variabilidade das condições de campo. Além da possibilidade de variação das características do subsolo identificadas na etapa de investigação, existem limitações de capacidade de equipamento e de geometria (comprimentos e diâmetros, por exemplo), e as condições de campo, muitas vezes, obrigam a mudanças substanciais no projeto original. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015)

Segundo a NBR 6122 (ABTN, 2010), a estaca é o elemento de fundação profunda executada somente por equipamentos ou ferramentas, sem que haja ação humana, podendo ser empregados materiais como madeira, aço e concreto. De acordo com a norma, o tubulão é o elemento de fundação profunda, cilíndrico, que em um ou mais momentos há ação humana. Necessariamente este tipo de fundação deve possuir a descida de um operário ao menos em sua fase final de escavação, com o objetivo de alargar a base. Complementa a norma que o caixão, para possuir esta característica, deve possuir forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna.

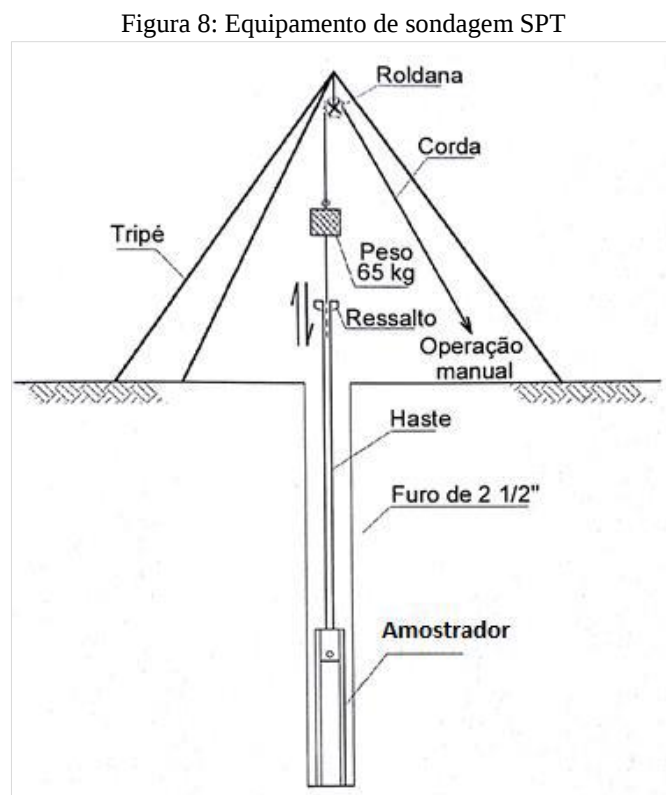
### **2.3 O SPT**

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2001), o princípio do ensaio SPT é a perfuração e cravação dinâmica de um amostrador-padrão por determinada profundidade resultando na determinação do tipo de solo e de um índice de resistência, além da obtenção do nível do lençol freático. Segundo as orientações desta norma, a lista de componentes de uma aparelhagem padrão do equipamento para realização desta sondagem é: torre com roldana, tubos de revestimento, composição de perfuração ou cravação, trado-concha ou cavadeira, trado helicoidal, trépano de lavagem, amostrador-padrão, cabeças de bateria, martelo padronizado para a cravação do amostrador, baldinho para esgotar o furo, medidor de nível-d'água, metro de balcão, recipientes para amostras, bomba d'água centrífuga motorizada, caixa d'água ou tambor com divisória interna para decantação e ferramentas gerais para operação dos demais itens.

“[...] SPT é um ensaio potencialmente usado, não só no Brasil, mas em todo o mundo (exceto na França onde o pressiómetro predomina) como instrumento indispensável em investigações preliminares para o projeto de fundações. Por ser utilizado como ferramenta indicadora do tipo de solo, do perfil de sondagem, do potencial de liquefação das areias durante terremotos (SEED, et al, 1985) entre outras aplicações, e, dada sua simplicidade, robustez e rápido tempo de resposta, parece mais do que razoável procurar meios que permitam avaliar com maior confiabilidade e acurácia o seu desempenho, aferindo-o através de um procedimento padronizado no sentido mais amplo da palavra.” (CAVALCANTE, 2012)

De acordo com Galvis (2015), por ser um equipamento simples e de fácil manejo, e de baixo custo, o SPT é um dos ensaios geotécnicos mais utilizados no Brasil e no mundo. “Este ensaio também é utilizado para determinar o índice de resistência NSPT, normatizado no Brasil pela norma NBR 6484 (2001), que é uma medida de resistência a penetração dinâmica” (GALVIS, 2015)

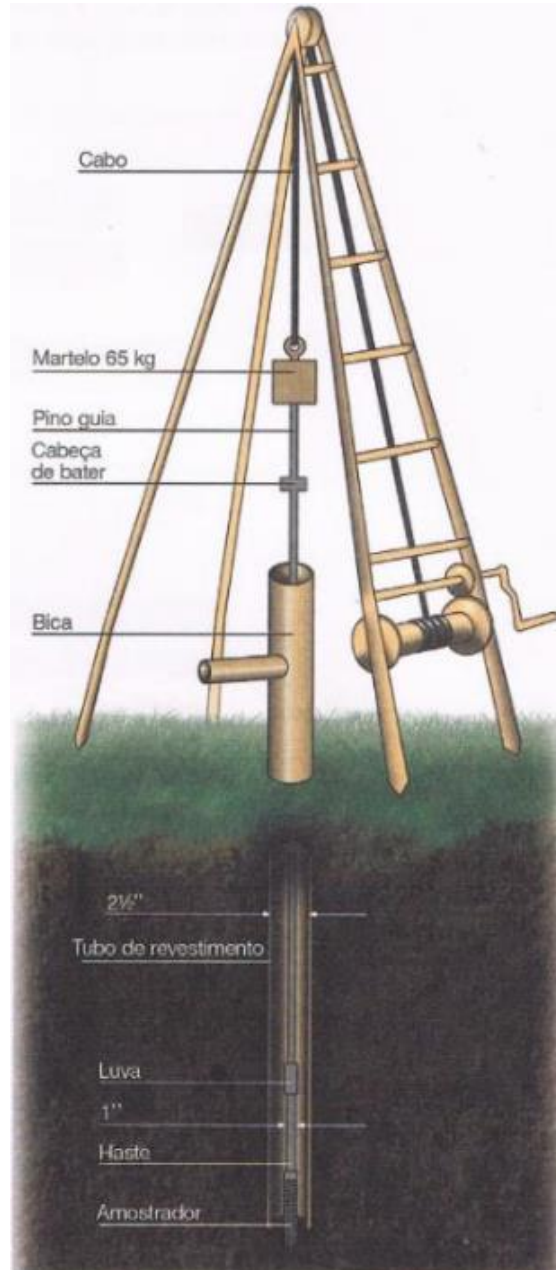
A figura 8 indicada a seguir apresenta um esboço de um sistema e do funcionamento da realização deste ensaio, compondo os principais componentes do equipamento conforme relacionado pela respectiva norma regulamentadora.



Fonte: PINTO (2012)

A figura 9 indicada abaixo representa de uma forma gráfica o modelo de equipamento para execução da sondagem tipo SPT proposto por Schnaid e Odebrecht (2012) em seu livro “Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia”, onde é possível observar inclusive os detalhes da execução dentro das camadas de solo.

Figura 9: Ilustração de um SPT



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012)

De acordo com Schnaid e Odebrecht (2012), o SPT é uma média da resistência dinâmica associada a uma sondagem, e com ela é possível determinar as diferentes camadas de solo de determinado local analisado. Segundo os autores, a perfuração é obtida com a utilização de um trado manual ou mecânico, ou ainda com a circulação de água, utilizando um trépano de lavagem como ferramenta de escavação.

“O Standard Penetration Test (SPT) é, reconhecidamente, a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo” (SCHNAID E ODEBRECHT 2000).

A figura 10 apresentada a seguir, retirada dos arquivos da empresa VWF Fundações de Cajamar - São Paulo, disponíveis em seu site, demonstra a execução de uma sondagem SPT por uma de suas equipes. Neste caso, está sendo executado por três pessoas, sendo uma delas possivelmente o técnico em sondagens e outros dois auxiliares.

Figura 10: Realização da sondagem SPT



Fonte: VWF Fundações (201?)

A NBR 6484 (ABNT, 2001) complementa ainda que o relatório das sondagens realizadas deve ser apresentado em páginas numeradas, datadas e assinadas pelo responsável técnico do trabalho. Neste relatório, segundo a norma, devem conter o nome do contratante, o local da obra, os equipamentos utilizados para realização do ensaio, a profundidade perfurada, referências de cada desenho (estes com suas respectivas informações como identificações do solo, nível-d'água, profundidades, e principalmente o NSPT) e quantas mais informações forem necessárias para que este documento seja o mais completo possível.

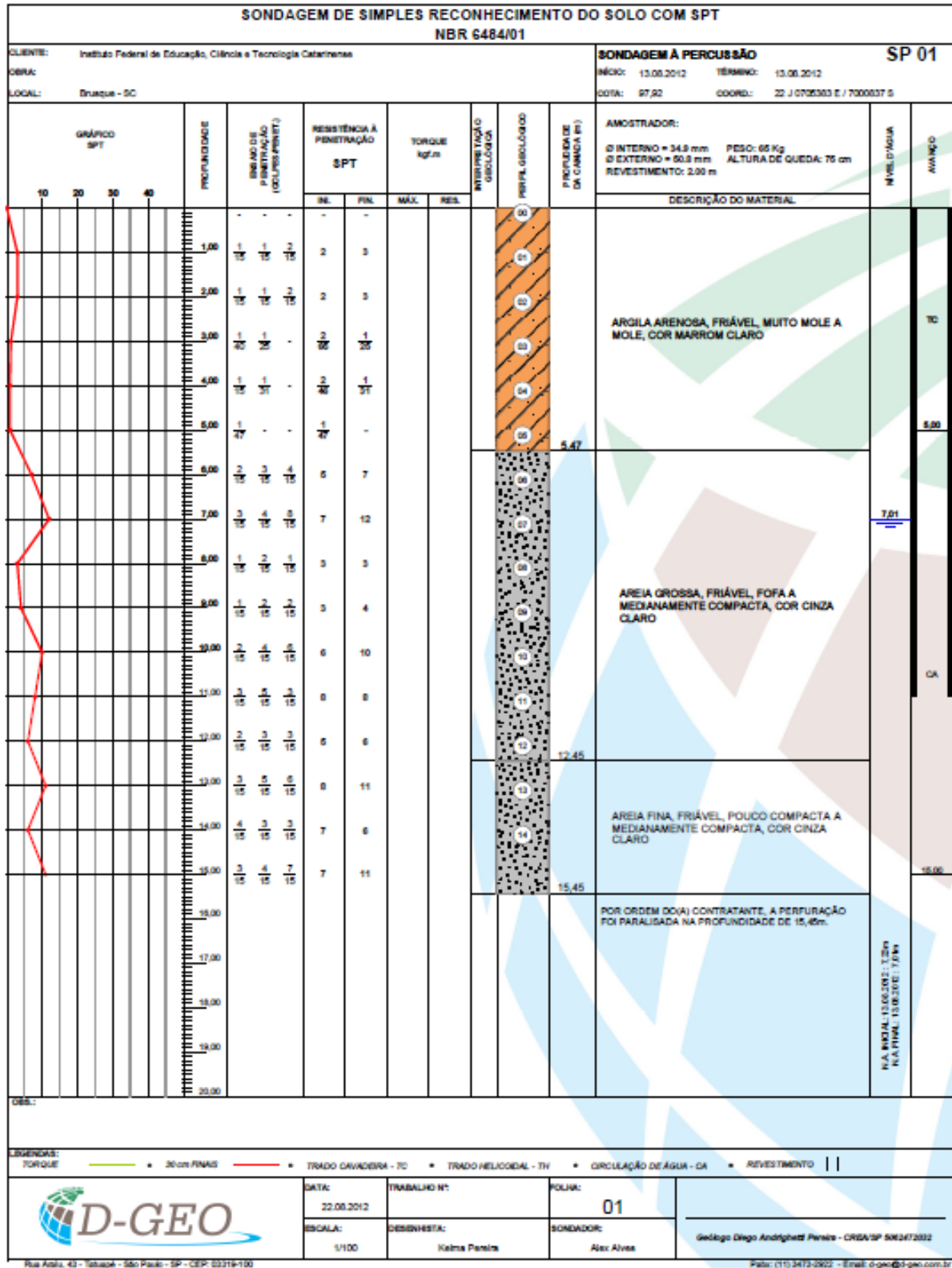
Cavalcante (2012) concluiu que o SPT é um ensaio indispensável para investigações preliminares de um projeto de fundações. Defende também a necessidade de uma melhor padronização deste tipo de sondagem, tendo em vista sua grande utilização e baixo custo.

Para Galvis (2015), o índice NSPT é utilizado para que, através de estimativas e correlações empíricas, parâmetros mais completos do solo. De acordo com o autor, com esta informação é possível determinar a capacidade de suporte de o recalque de fundações, por exemplo. O autor defende ainda que, por não terem nenhum fundamento científico, é importante observar a energia aplicada e as tensões atuantes no amostrador para que seja possível atestar a eficiências do SPT.

As vantagens desse ensaio com relação aos demais são: simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico de ensaio do pode ser relacionado por meio de propostas não sofisticadas, mas diretas, com regras empíricas de projetos. (SCHNAID E ODEBRECHT 2000).

A figura 11 listada a seguir, apresenta um típico resultado do ensaio SPT. Estão condidos neste relatório os índices de compactação NSPT, dispostos por profundidade, indicados ao lado. A informação da profundidade é importante por que em alguns casos em algumas camadas profundas do solo a resistência pode vir a diminuir, em vez de aumentar, como é naturalmente esperado. Além disso, características das camadas do solo, nível do lençol freático e resistência ao torque também estão presentes neste documento.

Figura 11: Resultados de um furo de sondagem SPT



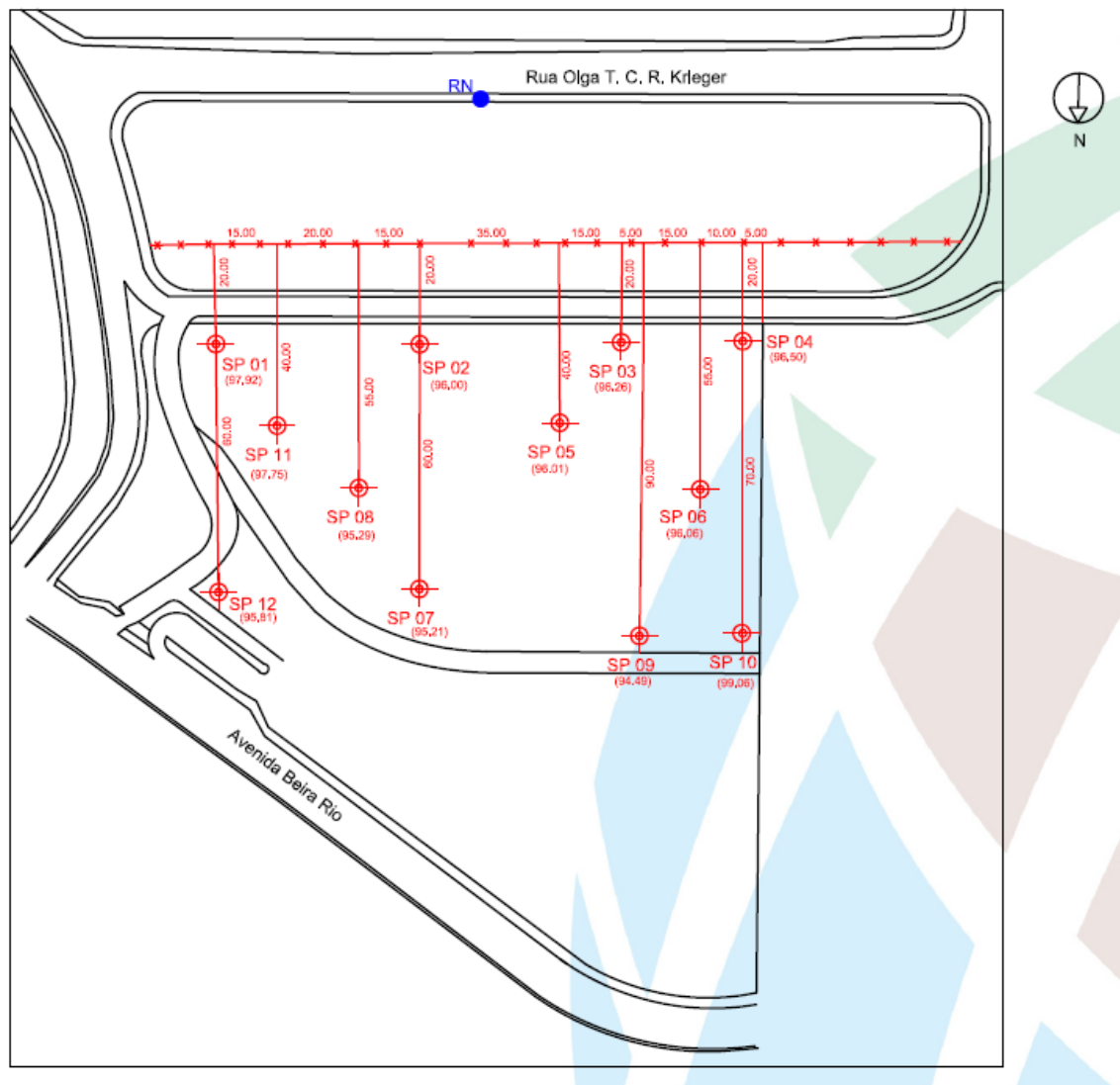
Fonte: D-GEO Geologia Ambiental (2012)

Avaliação da influência do erro na altura de queda do martelo padrão durante a execução da sondagem tipo SPT

“Por ser um ensaio muito simples do ponto de vista não só executivo, mas também interpretativo, desde o seu surgimento e mais fortemente nos últimos trinta anos, houve uma proliferação muito grande de empresas geotécnicas que passaram a usar o SPT acentuadamente como um ensaio de uso corrente no meio geotécnico”. (CAVALCANTE, 2012)

A figura 12 indica a posição de cada furo de sondagem em planta. Existe um número mínimo de furos de acordo com o empreendimento e o terreno que está sendo estudado. A NBR 8036 (ABNT, 1983) trata sobre estas especificações, quantidades de sondagens para cada caso.

Figura 12: Planta com a localização dos furos de sondagem



Fonte: D-GEO Geologia Ambiental (2012)

“Por não haver no SPT um sistema que permita a contagem automática do número de golpes e pela má qualidade da mão-de-obra geralmente utilizada, naturalmente pode-se esperar erros durante a contagem dos golpes” (CAVALCANTE 2012).

Cavalcante (2012) indica que o processo de execução da sondagem deve ser realizado com cuidado, uma vez que alguns descuidos nesta etapa podem causar erros graves nos resultados deste método. Para o autor, “O uso de procedimentos de perfuração e limpeza inadequados prejudicam a acurácia do SPT”.

“O furo de sondagem deve ser cuidadosamente limpo antes da realização do ensaio e o equipamento utilizado deverá garantir que o fundo do furo não seja amolgado (esta recomendação é subjetiva, de difícil obtenção). O nível d’água ou de lama de estabilização, dentro do furo de sondagem, deverá ser mantido em condições que garantam o equilíbrio hidráulico na cota de realização do ensaio.” (ODEBRECHT, 2003).

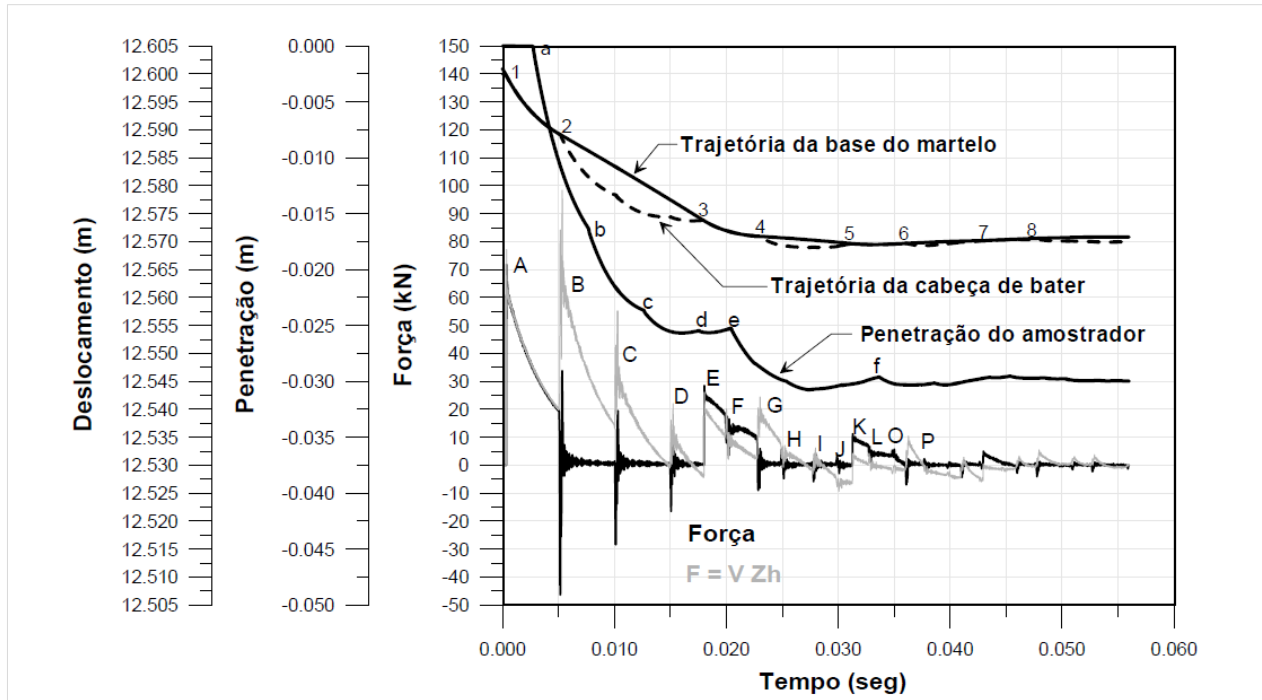
Schnaid e Odebrecht (2000), em seu trabalho sobre os ensaios de campo com aplicação à engenharia de fundações, abordam, entre outros métodos, o SPT. De acordo com os autores, o ensaio SPT é uma medida de resistência dinâmica, conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. Os autores comentam também sobre o recorrente uso deste tipo de sondagem no dimensionamento de fundações.

“Ele serve como indicativo de densidade de solos coesivos, e mesmo de rochas brandas. Métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas usam sistematicamente os resultados de SPT, especialmente no Brasil.” (SCHNAID E ODEBRECHT 2000).

“Já é sabido que os resultados de ensaio SPT fornecem como resultado uma medida de resistência dos solos. Desta forma, quanto mais resistente for o solo, maiores serão os valores de NSPT e conseqüentemente menores serão os recalques”. (RUFER, 2005)

Odebrecht (2003 p. 30), em sua contribuição sobre as medidas de energia do ensaio SPT, indica que a penetração do amostrado no solo só é possível devido à aplicação de um golpe que se inicia após a primeira onda de compressão produzir o primeiro impacto. O autor complementa ainda: “[...] A importância das ondas de compressão incidentes, subsequentes ao primeiro impacto, na cravação do amostrador é função da resistência do solo e do comprimento da haste”.

Figura 13: Simulação numérica de martelo sobre uma haste



Fonte: Odebrecht (2003 p. 31)

“Quando o martelo entra em contato com a haste, surgem imediatamente duas ondas longitudinais de tensão que se propagam em sentidos opostos: uma onda ascendente no martelo, e outra descendente na haste com velocidade de propagação  $c$ . No tempo  $t=L/c$ , onde  $L$  é igual ao comprimento do martelo, a onda de tensão gerada no instante do impacto do martelo com a haste é refletida na parte superior do martelo atingindo novamente o ponto de contato do martelo com a haste no tempo  $t=2L/c$ ”. (ODEBRECHT 2003).

A tese de doutorado de título “Medidas de energia no ensaio SPT”, de autoria de Edgar Odebrecht (2003), apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, será amplamente utilizada na elaboração deste trabalho, tendo em vista sua contribuição no que se refere ao desempenho da sondagem SPT. Serão abordadas conclusões deste autor principalmente com relação as medidas de transformação de energia durante a execução da sondagem em campo, sabendo que está sendo analisado justamente a eficiência do método quanto a sua precisão, e seus possíveis erros na apresentação dos dados ao engenheiro de fundações.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo serão abordados as estratégias e o delineamento da pesquisa como um todo, suas condições de referenciamento e estudo e os campos que foram analisados com maiores detalhes.

Também será discutido e apresentado aos leitores detalhes sobre o desenvolvimento do programa “FounProject”, o qual foi instrumento fundamental que trouxe grande auxílio na análise dos resultados (capítulo 4), bem como realizar comparativos com maior nível precisão e em maior escala. Serão demonstrados nesta etapa o funcionamento deste programa, dados de entrada e saída, bem como as técnicas de otimização de códigos utilizada para reduzir o tempo de resposta das solicitações.

Sempre há possibilidade de aperfeiçoar o programa, então será possível que o mesmo sofra alterações em sua formatação básica com o passar do tempo, desde que tenha o objetivo de incrementar novas possibilidades ou melhorar suas condições de operação, apresentação e otimização de resultados de forma intuitiva e de fácil manuseio.

#### 3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A pesquisa será desenvolvida com base em uma abordagem dedutiva. Segundo Prodanov e Freitas (2013), “O raciocínio dedutivo tem o objetivo de explicar o conteúdo das premissas. Por intermédio de uma cadeia de raciocínio em ordem descendente, de análise do geral para o particular, chega a uma conclusão”.

Será necessário um aprofundamento nos temas relacionados ao dimensionamento de fundações, especificamente em análise de solo. Conhecer com clareza todos condicionantes de um bom projeto se faz necessário para entender qual a influência de cada aspecto no mesmo. Será necessária a busca de informações e conceitos de física para compreender os métodos de transformações de energia, para que seja possível explicar a relação entre os golpes e a energia transferida à haste e conseqüentemente ao solo. Após o conhecimento aprofundado destes conceitos será possível analisar com consistência o objetivo específico deste trabalho.

O estudo será realizado com auxílio de uma pesquisa exploratória, buscando conceitos, estudos e pesquisas em trabalhos publicados de demais autores como referência para elaboração dos conceitos que formarão a base deste conteúdo. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), esta forma de pesquisa facilita a delimitação do tema da pesquisa, orientando a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses. “Possui planejamento flexível, o que permite o estudo do tema sob diversos ângulos e aspectos”.

A revisão bibliográfica será embasada em pesquisas e publicações de autores com relação ao assunto abordado. Serão analisadas pesquisas publicadas e disponíveis no portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em monografias, dissertações e teses. Também serão utilizados assuntos relacionados ao tema em livros e revistas, dois quais possam contribuir com a relação à energia aplicada em ensaios de sondagem de solo, e com relação a assuntos da área da física, necessária para explicar as transformações de energia, e as perdas envolvidas na atividade.

### 3.1.1 ENERGIA DO SPT SEGUNDO ODEBRECHT (2003)

Para entender qual a influência da variação da altura de queda do SPT no tamanho das fundações, foi necessário entender sobre energia, e transformação de energia do próprio método de sondagem.

Para isto, foram utilizadas inúmeras bibliografias obre o assunto, mas especialmente a tese de doutorado de Edgar Odebrecht, onde o mesmo aborda com alto grau de detalhes informações relevantes sobre esses aspectos.

Como esta pesquisa está baseada em pesquisa bibliográfica e não será realizado análise em campo com equipamentos elétricos para determinação da energia aplicada em cada golpe, utilizaremos para análise o artigo de Santana e Danziger (2016) – que realizaram o monitoramento em campo de um número representativo de golpes do SPT - e os métodos de análise de energia apresentados por Edgar Odebrecht (2003).

A energia potencial gravitacional teórica de 478 J ( $E^*$ ) corresponde as especificações às especificações da NBR 6484 que difere ligeiramente da energia teórica de referencia internacional,  $E^*=63,5 \text{ kg} * 9,806 \text{ m/s}^2 * 0,75\text{m}= 474 \text{ J}$ . Neste capítulo optou-se por utilizar as especificações da norma brasileira tendo em vista que todo o trabalho de análise teórica e experimental considerada a NBR como referência. (ODEBRECHT, 2003).

No caso das especificações da NBR 6484, temos a energia potencial gravitacional teórica através do desenvolvimento da seguinte equação:  $E^*=65 \text{ kg} * 9,806 \text{ m/s}^2 * 0,75\text{m}= 478 \text{ J}$ .

Segundo Odebrecht (2003), para qualquer golpe que proporcione uma penetração da haste no solo, a variação da energia potencial gravitacional ( $E$ ) do martelo é sempre maior do que a energia potencial gravitacional teórica ( $E^*$ ). De acordo com o autor, em solos menos resistentes, onde a penetração do amostrador é mais fácil, esta diferencia pode ser ainda maior.

Para que seja possível analisar de forma teórica as variações da sondagem (mesmo que aplicadas de forma prática após isso, no dimensionamento), esta pesquisa trabalhará com a análise de eficiência. Analisando a eficiência do método com as respectivas diferenças nas alturas de queda, será possível reduzir ou maximizar os valores reais do SPT, verificando assim quais as consequências nas fundações, objetivo principal desta pesquisa.

Por exemplo: Na concepção do autor desta pesquisa, se o peso padrão (65 kg) for solto de uma altura menor do recomendado pela norma (75 cm), e além de sua tolerância (5 cm), estará com eficiência menor do que 1, ou 100%. Como o peso produzirá uma energia menor sobre a haste, o número de golpes para atingir a mesma profundidade será maior, e o solo teoricamente apresentará uma resistência maior do que a realidade, e a fundação será possivelmente menor do que o ideal, podendo ocasionar patologias na obra, ou demasiado recalque. Sendo assim, quando a eficiência for menor do que 1, o seu resultado será inversamente proporcional, e faremos, portanto, uma majoração dos valores de NSPT.

Por outro lado, caso o peso seja solto de uma altura maior, além dos limites da NBR 6484, é possível que a haste penetre com maior facilidade no solo, uma vez que estará recebendo maior energia sobre a cabeça de bater. A eficiência, neste caso, será maior do que 1, ou do que 100%. Faremos neste caso uma minoração do NSPT, indicando que a resistência do solo tende a ser pior do que realmente é. Como consequência, a fundação será maior, bem como seu custo.

### 3.2 FOUNPROJECT

Para que fosse possível compreender com maior nível de detalhes o comportamento com relação ao tamanho das fundações variando o grau de eficiência do SPT, o autor entendeu necessário desenvolver um programa para utilizar como ferramenta auxiliar de pesquisa.

Neste tópico será abordado com o maior nível de detalhes possível aspectos que variam deste a concepção do programa, até sua metodologia de funcionamento e de trabalho.

O nome do programa surgiu da combinação das palavras PROJETO + FUNDAÇÕES, que traduzido ao inglês significa PROJETC + FOUNDATIONS, logo, “FounProject, ou programa de projeto de fundações. Abaixo (figura 14) apresentamos a logomarca desenvolvida para o projeto.

Figura 14: Logo FOUNPROJECT



Fonte: Autoria própria (2019)

O objetivo principal do programa era desenvolver um código automatizado com auxílio do *software* Excel, que fosse o mais complexo por trás das linhas, mas o mais simples de operacionalizar. Complexo por que o objetivo inicial era desenvolver algo que realizasse boa parte ou totalmente, o dimensionamento de fundações, apresentado aos usuários o resultado final em poucos segundos, entrando com a menor quantidade de dados possíveis, e utilizando a sondagem de solo tipo SPT (alvo principal deste estudo).

O programa deveria ainda estar de acordo com as normas vigentes. Mesmo sendo um método não certificado, e que, portanto, será utilizado apenas como conferência e aprendizado, em nível universitário e não comercialmente, deveria atender todas as condições necessárias para o correto resultado, como se realizado manualmente, porém muito menos tempo.

Buscou-se, portanto, compreender inicialmente exatamente todas as condições dispostas na norma para o desenvolvimento correto de um projeto de fundações, seja ele superficial ou profundo. Logo, identificou-se necessário determinar algumas limitações para o programa. Uma delas, a de que seria possível utiliza-lo somente para projeto de fundações de edificações com carga normal aplicada definida, contida no projeto estrutural. Não seria possível portanto, ao menos neste momento, dimensionar com o auxílio do programa muros de contenções com estacas escavadas, por exemplo.

Segundo a NBR 6122/2010, pode-se determinar a tensão admissível do solo por métodos teóricos, semi-empíricos e empíricos. Sobre os métodos teóricos, temos a seguinte recomendação da norma: “Podem ser empregados métodos analíticos (teorias de capacidade de carga) nos domínios de validade de sua aplicação, que contemplem todas as particularidades do projeto, inclusive a natureza do carregamento (drenado ou não drenado)” (ABNT, NBR 6122/2010)

A seguir será apresentado cada tópico desenvolvido em formato de código dentro do programa, para que seja possível compreender o método de trabalho e análise de dados do mesmo.

### 3.2.1 FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Sabe-se que para determinar as dimensões da fundação, um dos primeiros passos é determinar a resistência do solo. Para isso, o programa está configurado para calcular a utilizando a **equação de Terzaghi**, indicada abaixo (equação 01)

$$\sigma R = c * N_c * S_c + q * N_q * S_q + 1/2 * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma \quad (01)$$

Onde:

$\sigma R$ : Resistência do solo;

$c$ : Coesão do solo;

$q$ : Sobrecarga ( $q = \gamma * D$ ), sendo  $\gamma$  o peso específico e  $D$  a altura de solo;

$B$ : Menor dimensão da sapata;

$S_c, S_q$  e  $S_\gamma$ : Fatores de forma;

$N_c, N_q$  e  $N_\gamma$ : Fatores de capacidade de carga;

Segundo Ruver e Consoli (2006), é necessário **uniformizar os valores de NSPT** em termos de energia de cravação. Considerando-se 72% da energia teórica para os casos brasileiros, é possível fazer a correção dos valores para 60%, padrão internacional de aproveitamento de energia teórica utilizando-se a equação 02 a seguir.

$$N_{SPT,60} = \frac{(N_{SPT} * \% \text{ de energia aplicada})}{0,60} = \frac{(N_{SPT} * 0,72)}{0,60} = 1,20 * N_{SPT} \quad (02)$$

Onde:

$N_{SPT,60}$  = NSPT com a correção para o padrão internacional

$N_{SPT}$  = Valor da sondagem de campo;

Como estamos desenvolvendo todo o programa para que seja possível calcular as fundações utilizando apenas os valores de sondagem SPT, utilizaremos a correlação para encontrar o **peso específico** ( $\gamma_n$ ) proposto por Godoy (1972), conforme apresenta a figura 16.

Figura 15: Tabela original de Godoy (1972) interpolada

| Peso específico de solos argilosos de acordo com Godoy (1972) - Interpolada |     |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------|
| Argilas                                                                     | SPT | Peso Específico (kN/m³) |
| Muito Mole                                                                  | 0   | 12,00                   |
| Muito Mole                                                                  | 1   | 13,00                   |
| Muito Mole                                                                  | 2   | 14,00                   |
| Mole                                                                        | 3   | 15,00                   |
| Mole                                                                        | 4   | 15,67                   |
| Mole                                                                        | 5   | 16,33                   |
| Média                                                                       | 6   | 17,00                   |
| Média                                                                       | 7   | 17,40                   |
| Média                                                                       | 8   | 17,80                   |
| Média                                                                       | 9   | 18,20                   |
| Média                                                                       | 10  | 18,60                   |
| Rija                                                                        | 11  | 19,00                   |
| Rija                                                                        | 12  | 19,22                   |
| Rija                                                                        | 13  | 19,44                   |
| Rija                                                                        | 14  | 19,67                   |
| Rija                                                                        | 15  | 19,89                   |
| Rija                                                                        | 16  | 20,11                   |
| Rija                                                                        | 17  | 20,33                   |
| Rija                                                                        | 18  | 20,56                   |
| Rija                                                                        | 19  | 20,78                   |
| Dura                                                                        | 20  | 21,00                   |

Fonte: Autoria própria, com base nos dados de Godoy (1972)

Neste caso, foi necessário realizar uma interpolação linear para que a variação fosse de 1 em 1, otimizando assim o processamento do programa. Com essa interpolação, o programa vai procurar o valor do NSPT informado, dentro da tabela acima, e responderá com seu peso específico ( $\gamma_n$ ) correspondente. Neste caso de estudo estamos prevendo não ter em mão ensaios de laboratório determinando com precisão o peso específico, por isso adotaremos valores aproximados segundo as tabelas de Godoy (1972). Estes valores são empíricos, mas conforme indicado neste trabalho, é algo permitido pela NBR.

Para a determinação do **ângulo de atrito interno**, que será necessária adiante para determinação de alguns coeficientes, utilizaremos dois autores: Godoy (1983), onde apresenta a equação  $\phi = 28^\circ + 0,4 * N$ , e também Teixeira (1996):  $\phi = \sqrt{20 * N} + 15^\circ$ .

Para fins de segurança, o programa foi desenvolvido para solucionar as duas equações, e após analisar o menor dos resultados. O menor deles será atribuído como o valor resultante.

Para determinação dos **coeficientes de forma** que são necessários para solução de fórmula de Terzaghi ( $Sc, Sq$  e  $Sy$ ), usaremos as fórmulas abaixo com base no formato da fundação, propostas por De Beer conforme apresenta Wahys (2018).

Figura 16: Fatores de Forma (De Beer)

| Fatores de Foema (De Beer) |                   |                  |               |
|----------------------------|-------------------|------------------|---------------|
| Forma de Base              | Sc                | Sq               | Sy            |
| Corrida                    | 1,00              | 1,00             | 1,00          |
| Retangular                 | $1+(B/L)*(Nq/Nc)$ | $1+(B/L)*tg\phi$ | $1-0,4*(B/L)$ |
| Circular e Quadrada        | $1+(Nq/Nc)$       | $1+tg\phi$       | 0,60          |

Fonte: Wahys (2018)

Nesta etapa o programa fará a análise do formato da fundação com base nas dimensões informadas, embora seja sabido que a maior parte é retangular pois parte das dimensões iniciais dos pilares, que em sua grande maioria são retangulares também. Após reconhecer a forma da base, o sistema aplicará a respectiva fórmula.

Para **determinação da coesão**, usaremos a correlação de Alonso (1943) também interpolada, baseando-se no *NSPT* encontrado, conforme apresenta a imagem 17 a seguir. Como o sistema precisa buscar um valor determinado, seria mais complexo que a todo cálculo fosse necessário o programa fazer uma interpolação. Sendo assim, foi usado a tabela original do Alonso, e feito a interpolação manualmente uma vez apenas, variando de 1/1. Após isso, basta o código procurar o SPT em questão e responder com a coesão

Figura 17: Tabela original de Alonso (1943) interpolada

| Coesão de Acordo com Alonso (1943) - Interpolada |     |                |
|--------------------------------------------------|-----|----------------|
| Argilas                                          | SPT | Coesão C (Kpa) |
| Muito Mole                                       | 0   | 0,00           |
| Muito Mole                                       | 1   | 5,00           |
| Mole                                             | 2   | 10,00          |
| Mole                                             | 3   | 17,50          |
| Média                                            | 4   | 25,00          |
| Média                                            | 5   | 31,25          |
| Média                                            | 6   | 37,50          |
| Média                                            | 7   | 43,75          |
| Média                                            | 8   | 50,00          |
| Rija                                             | 9   | 57,14          |
| Rija                                             | 10  | 64,28          |
| Rija                                             | 11  | 71,42          |
| Rija                                             | 12  | 78,56          |
| Rija                                             | 13  | 85,70          |
| Rija                                             | 14  | 92,84          |
| Rija                                             | 15  | 100,00         |
| Muito Rija                                       | 16  | 106,67         |
| Muito Rija                                       | 17  | 113,34         |
| Muito Rija                                       | 18  | 120,00         |
| Muito Rija                                       | 19  | 126,67         |
| Muito Rija                                       | 20  | 133,34         |
| Muito Rija                                       | 21  | 140,00         |
| Muito Rija                                       | 22  | 146,67         |
| Muito Rija                                       | 23  | 153,34         |
| Muito Rija                                       | 24  | 160,00         |
| Muito Rija                                       | 25  | 166,67         |
| Muito Rija                                       | 28  | 186,67         |
| Muito Rija                                       | 29  | 193,34         |
| Dura                                             | 30  | 200,00         |

Fonte: Autoria própria, com base nos dados de Alonso (1943)

A partir do ângulo de atrito interno, podemos retirar os demais coeficientes ( $Sc$ ,  $Sq$  e  $Sy$ ) utilizando os **fatores de capacidade de carga** de Prahtl- Reissner e Caquot-Kérisel, disponíveis nas notas de aula do professor Wahys (2018).

Estas tabelas já estavam disponíveis em sua originalidade variando de 1 em 1, e, portanto, não foi necessária nenhuma interpolação. Abaixo, nas figuras 18 e 19 são apresentadas respectivamente as variáveis de cálculo.

Figura 18: Fatores de capacidade de carga de Prahtl- Reissner e Caquot-Kérisel (1)

| Fatores de capacidade de carga (Nc e Nq: Pradt-Reissner, Ns: Caquot-Kérisel) |        |        |        |       |                 |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-----------------|
| $\phi$                                                                       | Nc     | Ns     | Nt     | Nq/Nc | $\text{tg}\phi$ |
| 0                                                                            | 5,140  | 1,000  | 0,000  | 0,200 | 0,000           |
| 1                                                                            | 5,380  | 1,090  | 0,070  | 0,200 | 0,020           |
| 2                                                                            | 5,630  | 1,200  | 0,150  | 0,210 | 0,030           |
| 3                                                                            | 5,900  | 1,310  | 0,240  | 0,220 | 0,050           |
| 4                                                                            | 6,190  | 1,430  | 0,340  | 0,230 | 0,070           |
| 5                                                                            | 6,490  | 1,570  | 0,450  | 0,240 | 0,090           |
| 6                                                                            | 6,810  | 1,720  | 0,570  | 0,250 | 0,110           |
| 7                                                                            | 7,160  | 1,880  | 0,710  | 0,260 | 0,120           |
| 8                                                                            | 7,530  | 2,060  | 0,850  | 0,270 | 0,140           |
| 9                                                                            | 7,920  | 2,250  | 1,030  | 0,280 | 0,160           |
| 10                                                                           | 8,350  | 2,470  | 1,220  | 0,300 | 0,180           |
| 11                                                                           | 8,800  | 2,710  | 1,440  | 0,310 | 0,190           |
| 12                                                                           | 9,280  | 2,970  | 1,690  | 0,320 | 0,210           |
| 13                                                                           | 9,810  | 3,250  | 1,970  | 0,330 | 0,230           |
| 14                                                                           | 10,370 | 3,590  | 2,290  | 0,350 | 0,250           |
| 15                                                                           | 10,980 | 3,940  | 2,650  | 0,360 | 0,270           |
| 16                                                                           | 11,630 | 4,340  | 3,060  | 0,370 | 0,290           |
| 17                                                                           | 12,340 | 4,770  | 3,530  | 0,390 | 0,310           |
| 18                                                                           | 13,100 | 5,260  | 4,070  | 0,400 | 0,320           |
| 19                                                                           | 13,930 | 5,800  | 4,680  | 0,420 | 0,340           |
| 20                                                                           | 14,830 | 6,400  | 5,390  | 0,430 | 0,360           |
| 21                                                                           | 15,820 | 7,070  | 6,200  | 0,450 | 0,380           |
| 22                                                                           | 16,880 | 7,820  | 7,130  | 0,460 | 0,400           |
| 23                                                                           | 18,050 | 8,660  | 8,200  | 0,480 | 0,420           |
| 24                                                                           | 19,320 | 9,600  | 9,440  | 0,500 | 0,450           |
| 25                                                                           | 20,720 | 10,660 | 10,880 | 0,510 | 0,470           |

Fonte: Notas de aula do professor Wahys (2018)

Figura 19: Fatores de capacidade de carga de Prahtl- Reissner e Caquot-Kérisel (2)

| Fatores de capacidade de carga (Nc e Nq: PradtI-Reissner, Ns: Caquot-Kérisel) |         |         |         |       |          |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|-------|----------|
| $\phi$                                                                        | Nc      | Ns      | Nt      | Nq/Nc | $tg\phi$ |
| 26                                                                            | 22,250  | 11,850  | 12,540  | 0,530 | 0,490    |
| 27                                                                            | 23,940  | 13,200  | 14,470  | 0,550 | 0,510    |
| 28                                                                            | 25,800  | 14,720  | 16,720  | 0,570 | 0,530    |
| 29                                                                            | 27,860  | 16,440  | 19,340  | 0,590 | 0,550    |
| 30                                                                            | 30,140  | 18,400  | 22,400  | 0,610 | 0,580    |
| 31                                                                            | 32,670  | 20,630  | 25,990  | 0,630 | 0,600    |
| 32                                                                            | 35,490  | 23,180  | 30,220  | 0,650 | 0,620    |
| 33                                                                            | 38,640  | 26,090  | 35,190  | 0,680 | 0,650    |
| 34                                                                            | 42,160  | 29,440  | 41,060  | 0,700 | 0,670    |
| 35                                                                            | 46,120  | 33,300  | 48,030  | 0,720 | 0,700    |
| 36                                                                            | 50,590  | 37,750  | 56,310  | 0,750 | 0,730    |
| 37                                                                            | 55,630  | 42,920  | 66,190  | 0,770 | 0,750    |
| 38                                                                            | 61,350  | 48,930  | 78,030  | 0,800 | 0,780    |
| 40                                                                            | 75,310  | 64,200  | 109,410 | 0,850 | 0,840    |
| 41                                                                            | 83,860  | 73,900  | 130,220 | 0,880 | 0,870    |
| 42                                                                            | 93,710  | 85,380  | 155,550 | 0,910 | 0,900    |
| 43                                                                            | 105,110 | 99,020  | 186,540 | 0,940 | 0,930    |
| 44                                                                            | 118,370 | 115,310 | 224,640 | 0,970 | 0,970    |
| 45                                                                            | 133,860 | 134,880 | 271,760 | 1,010 | 1,000    |
| 46                                                                            | 152,100 | 158,510 | 330,350 | 1,040 | 1,040    |
| 47                                                                            | 173,640 | 187,210 | 403,670 | 1,080 | 1,070    |
| 48                                                                            | 199,260 | 222,310 | 496,010 | 1,120 | 1,110    |
| 49                                                                            | 229,930 | 265,510 | 613,160 | 1,150 | 1,150    |
| 50                                                                            | 266,890 | 319,070 | 762,890 | 1,200 | 1,190    |

Fonte: Notas de aula do professor Wahys (2018)

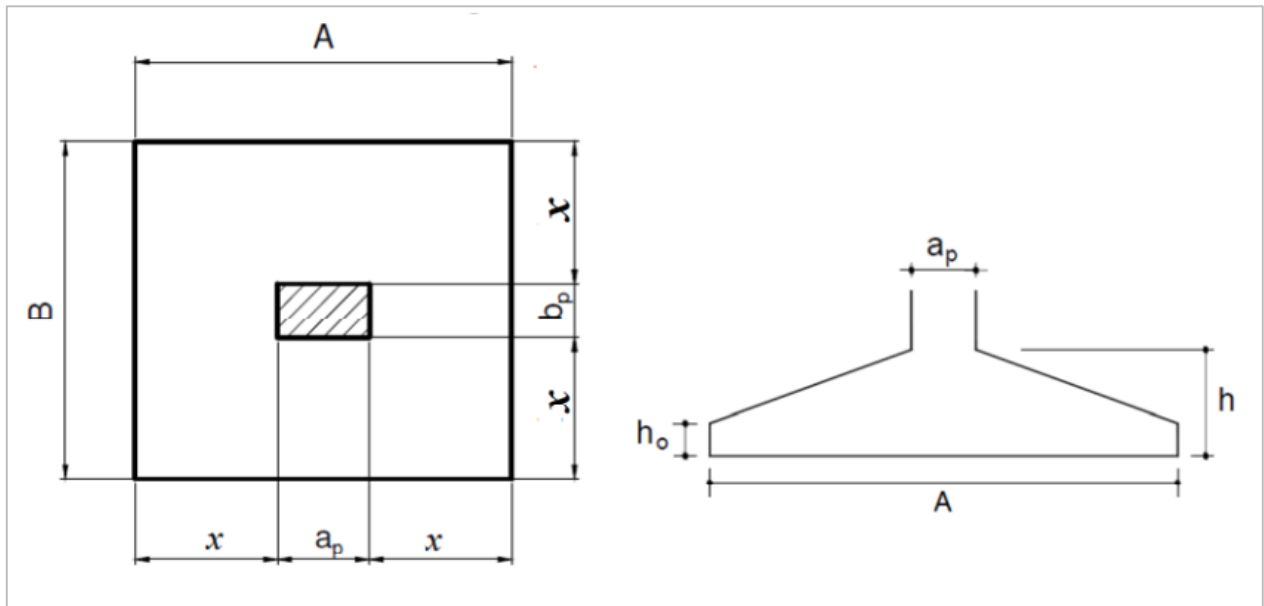
Nesta etapa o sistema usa como referência e ponto de partida o ângulo de atrito interno  $\phi$  para procurar nesta tabela todas as demais variáveis. Por exemplo: Se o resultado de  $\phi$  for 41, o programa rapidamente faz uma busca, e retorna as seguintes variáveis:  $Nc$ : 83,86  $Ns$ : 73,90,  $Nt$ : 130,22,  $Nq/Nc$ : 0,88 e  $tg \phi$ : 0,87.

De posse destas informações, a equação de Terzaghi pode ser solucionada, e o resultado será automaticamente informado, porém ainda não é o resultado final. Para este, será necessário dividir ainda a resistência calculada pelo fator de segurança, conforme indica a NBR 6122/10. Assim, teremos a tensão admissível do solo.

De posse destas informações, pode-se iniciar o dimensionamento da fundação em sua totalidade.

Para as dimensões da base, sabe-se que deve ser atendida a condição de abas iguais partindo das dimensões do pilar. Para isso temos o exemplo de uma sapata conforme figura 20 abaixo, e suas respectivas variáveis.

Figura 20: Sapata isolada em planta e em corte



Fonte: RORIGUES (2018)

Para calcular, temos que:

$$A = 2 * x + a_p \quad (03) *$$

$$B = 2 * x + b_p$$

Logo:

$$A - B = a_p - b_p \quad (04) *$$

Por fim, temos:

$$CA = \frac{A - a_p}{2} \quad (05) *$$

$$CB = \frac{B - b_p}{2}$$

\*Equações retiradas das notas de aula de RORIGUES (2018)

Após isso, deve ser calculada a altura da sapata que será calculada segundo a NBR 6122/10. Para isso, será usada a também a tabela da NBR 6118/14 da figura 21, para os comprimentos de ancoragem  $lb$ .

De acordo com a NBR 6118/14, temos as seguintes fórmulas para calcular  $h$ :

$$h1 \geq \frac{A - ap}{3} \quad (06)$$

$$h2 \geq \frac{B - bp}{3} \quad (07)$$

Também deve ser satisfeito a condição da ancoragem das barras longitudinais do pilar. “É necessário que a sapata tenha altura suficiente para que as forças nas armaduras do pilar sejam transferidas ao concreto da fundação (ancoragem) incluindo um comprimento mínimo para a proteção das armaduras” (RODRIGUES, 2018).

$$h \geq loc + d' , onde loc = lb \quad (08)$$

Para calcular  $lb$  usaremos a tabela da figura 21 abaixo, da NBR 6118/14. O programa deve verificar a resistência do concreto informada, verificar se é com ou sem gancho (o usuário deverá informar) e em seguida retornar o número da tabela abaixo, multiplicado pelo diâmetro da armadura (que também terá que ser informado). Para o valor de  $(ho)$  a NBR 6122/10 indica usar  $h/3$ , mas desde que seja maior do que 20 centímetros.

Figura 21: Comprimento da ancoragem em função do diâmetro

| Ancoragem LB para fundações |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|
| Concreto                    | Sem Gancho | Com Gancho |
| Fck 15                      | 53,00      | 37,00      |
| Fck 20                      | 44,00      | 31,00      |
| Fck 25                      | 38,00      | 26,00      |
| Fck 30                      | 33,00      | 23,00      |

Fonte: NBR 6118/14

### 3.2.2 FUNDAÇÃO PROFUNDA

Para elaboração do sistema que seja capaz de dimensionar com praticidade as fundações profundas, partimos do seguinte pressuposto: Assim como na fundação superficial, o primeiro passo é calcular a resistência do solo de acordo com a profundidade que o usuário irá informar ao programa. Para isso, será implantado no mesmo o método de Décourt-Quaresma, conforme representado na figura 22 abaixo. Esta tela não necessariamente precisa estar disponível para visualização, poderá estar oculta. Basta que sejam apresentadas visivelmente os coeficientes das resultantes da profundidade que foi definida.

Figura 22: Tabela de dimensionamento de Décourt-Quaresma

| Dados do SPT |      |                      | Décourt-Quaresma       |                         |         |                         |         |             |           |
|--------------|------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------|-----------|
| Prof.        | NSPT | Tipo de Solo         | K (kN/m <sup>2</sup> ) | qp (kN/m <sup>2</sup> ) | Qp (kN) | qs (kN/m <sup>2</sup> ) | Qs (kN) | Qtotat (kN) | Q/CS (kN) |
| 0,00 m       | 0    | Areia siltosa        | 400                    | 0                       | 0       | 10                      | 0       | 0           | 0         |
| 1,00 m       | 7    | Areia silto-argilosa | 400                    | 2800                    | 352     | 33                      | 42      | 394         | 197       |
| 2,00 m       | 15   | Areia argilosa       | 400                    | 6000                    | 754     | 60                      | 117     | 871         | 436       |
| 3,00 m       | 6    | Areia argilo-siltosa | 400                    | 2400                    | 302     | 30                      | 155     | 457         | 228       |
| 4,00 m       | 22   | Silte                | 200                    | 4400                    | 553     | 83                      | 260     | 813         | 406       |
| 5,00 m       | 25   | Silte arenoso        | 250                    | 6250                    | 785     | 93                      | 377     | 1162        | 581       |
| 6,00 m       | 26   | Silte areno-argiloso | 250                    | 6500                    | 817     | 97                      | 498     | 1315        | 658       |
| 7,00 m       | 28   | Silte argiloso       | 200                    | 5600                    | 704     | 103                     | 628     | 1332        | 666       |
| 8,00 m       | 29   | Silte argilo-arenoso | 200                    | 5800                    | 729     | 107                     | 762     | 1491        | 746       |
| 9,00 m       | 30   | Argila               | 120                    | 3600                    | 452     | 110                     | 901     | 1353        | 676       |
| 10,00 m      | 30   | Argila arenosa       | 120                    | 3600                    | 452     | 110                     | 1039    | 1491        | 746       |
| 11,00 m      | 30   | Argila areno-siltosa | 120                    | 3600                    | 452     | 110                     | 1177    | 1629        | 815       |
| 12,00 m      | 30   | Argila siltosa       | 120                    | 3600                    | 452     | 110                     | 1315    | 1768        | 884       |
| 13,00 m      | 30   | Argila silto-arenosa | 120                    | 3600                    | 452     | 110                     | 1454    | 1906        | 953       |
| 14,00 m      | 30   | Areia siltosa        | 400                    | 12000                   | 1508    | 110                     | 1592    | 3100        | 1550      |
| 15,00 m      | 30   | Areia silto-argilosa | 400                    | 12000                   | 1508    | 110                     | 1730    | 3238        | 1619      |
| 16,00 m      | 30   | Areia argilosa       | 400                    | 12000                   | 1508    | 110                     | 1868    | 3376        | 1688      |
| 17,00 m      | 35   | Areia argilo-siltosa | 400                    | 14000                   | 1759    | 127                     | 2027    | 3787        | 1893      |
| 18,00 m      | 36   | Silte                | 200                    | 7200                    | 905     | 130                     | 2191    | 3096        | 1548      |
| 19,00 m      | 37   | Silte arenoso        | 250                    | 9250                    | 1162    | 133                     | 2358    | 3521        | 1760      |

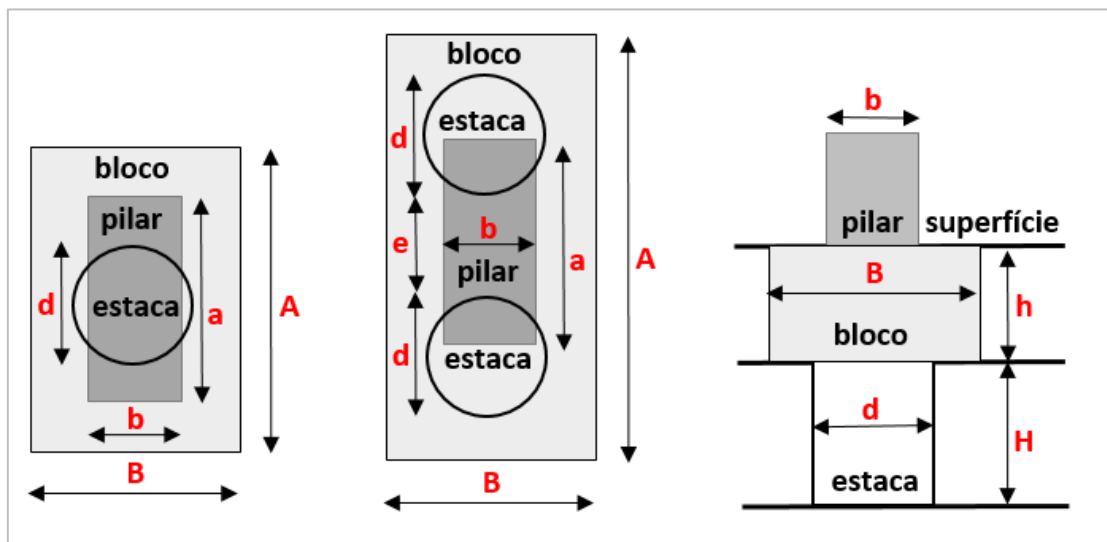
Fonte: Autoria própria, segundo as equações de Décourt-Quaresma

Os dados do SPT deverão ser informados para usuário ao sistema, e a partir destes dados (e de mais alguns) o sistema deve calcular a resistência do solo. Com a profundidade, o sistema deverá extrair o *NSPT*, o valor da resistência da camada de solo *K*, o valor de *qp*, *Qp*, *qs*, *Qs*, *Qtotat* e por fim, o mais importante, *Q/Cs* que é o valor da resistência total do solo. Alterando o valor da profundidade, deverá então ser instantaneamente alterados todos os demais parâmetros, tendo em vista que todos se baseiam deste primeiro.

Para o referido trabalho, foi necessário ser desenvolvido um sistema capaz de dimensionar fundações profundas tipo estaca escavada. Sabe-se que existem diversas outras, mas escolheu-se por este modelo possivelmente ser o mais usual na região.

O objetivo final deve ser encontrar todas as variáveis destacadas na figura 23 abaixo. Nelas, temos as dimensões em planta e em corte.

Figura 23: Bloco e estacas vistos em planta e corte



Fonte: Autoria própria

Com a informação do SPT informado pelo usuário, o sistema deverá buscar a camada dentro do banco de dados conforme a figura 24 da NBR 6122/10. Neste caso também dentro do programa deverão ser criados códigos por interpolação destes valores, pois existem mais camadas de solo que poderão ser informadas além destas abaixo.

Figura 24: Parâmetros de resistência do solo

| Tipo de solo   | K   |
|----------------|-----|
| Argila         | 120 |
| Silte argiloso | 200 |
| Silte arenoso  | 250 |
| Areia          | 400 |

Fonte: NBR 6122/10

De posse da resistência do solo, deve ser dimensionada as estacas e o bloco. Para isso, inicialmente deve ser informado o número de estacas para verificar se as mesmas resistem as cargas atuantes do pilar, segundo a NBR 6122/10.

Após, segundo a norma mencionada, é recomendado que o bloco tenha 15 centímetros de folga em cada lado do menor elemento (pilar ou estaca) visto em planta. Avaliando a imagem 23 apresentada anteriormente é possível entender melhor do que se trata.

Segundo a NBR 6122/10, a estaca, ou as estacas, devem ter diâmetro e estarem apoiadas em condições de resistência do solo que possibilitem que a sua resistência seja maior do que a carga do pilar, evitando assim possíveis recalques. Portanto, o sistema deve possibilitar que seja alterada o diâmetro e/ou a profundidade para o usuário ir testando até que seja satisfeita esta condição.

A altura final do bloco também utilizará a tabela da figura 21 apresentada no tópico anterior sobre o comprimento de ancoragem, usando a resistência do concreto e os diâmetros das armaduras para o cálculo.

$$dmin = 0,5 * (e - \frac{ap}{2}) \quad (09)$$

$$dmax = 0,71 * (e - \frac{ap}{2}) \quad (10)$$

De acordo com Rodrigues (2018), para o valor de  $(h)$  o deve-se verificar se  $(loc)$  está entre os valores de  $(dmin)$  e  $(dmax)$ . Das equações 09 e 10 acima, retiradas da NBR 6122/10. Se estiver, o valor de  $(h)$  será  $(loc)$  arredondado para maior, variando de 5 em 5 centímetros. Se for menor,  $h$  será igual a  $dmin$ . Se for maior, não será possível calcular pois haverá compressão nas bielas. Deve-se aumentar a resistência do concreto ou o diâmetro da estaca.

O bloco deve ter altura suficiente para permitir a transmissão direta da carga, desde a base do pilar (no topo do bloco) até o topo das estacas, por meio das bielas comprimidas. Ensaios experimentais indicam que o método das bielas fornece resultados a favor da segurança para inclinações de biela entre 45 e 55 graus em relação a horizontal e não apresentam risco de ruptura por punção. (RODRIGUES, 2018)

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos durante e após o desenvolvimento desta pesquisa. Também serão apresentadas as análises dos resultados obtidos, com apontamentos do autor sobre os assuntos.

Será inicialmente apresentado o resultado funcional e operacional do programa FounProject, que foi amplamente utilizado no desenvolvimento deste trabalho. Serão apresentadas algumas de suas telas, acompanhadas de notas explicativas de alguns detalhes considerados relevantes. Para conhecer com exatidão o funcionamento do programa, é necessário ler o manual de operação que acompanha o mesmo, e também está disponível no ANEXO B deste projeto de pesquisa. Com este manual, poderá qualquer estudante de Engenharia Civil utilizar este programa para fins de estudo e pesquisa acadêmica durante sua graduação, uma vez que o sistema é capaz de calcular com exatidão e em menos de 1 segundo um número de equações que seriam necessárias horas de desenvolvimento se realizado manualmente. O mesmo produz grande eficiência se utilizado para verificar o grau de relevância de algumas variáveis do projeto de fundações, como profundidade e carga aplicada.

Logo após, serão apresentados os resultados que são o objetivo principal desta pesquisa, que se referem ao SPT e seus possíveis erros de execução. Serão apresentados comparativos entre as diferentes condições de eficiência. Para que seja possível realizar um comparativo justo, as análises serão realizadas com base no consumo de concreto de uma fundação sujeita a mesmos fatores de carga e mesmo coeficiente de segurança. Será alterado apenas a eficiência do SPT, alterando seus respectivos valores de NSPT que serão maximizados ou minimizados segundo seu índice de eficiência global.

Para isto, serão apresentados também resultados quanto aos níveis de eficiência calculados, quais condições são alteradas e de que maneira são correlacionados com os valores do NSPT.

## 4.1 FOUNPROJECT

Como era esperado, o programa teve grande contribuição no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, pois possibilitou uma melhor análise dos dados de entrada e saída, trabalhando unicamente com dados da sondagem alvo desta pesquisa (SPT) e utilizando correlações empíricas dos autores indicados nos capítulos anteriores, com pequenas contribuições com relação à interpolação, realizadas pelo autor deste trabalho.

O programa poderá ainda trazer resultados futuros com base no aproveitamento de outros acadêmicos do curso de Engenharia Civil em suas pesquisas ou mesmo para seu aprendizado pessoal quanto a conteúdos de fundações, sondagem, aplicação de cargas, resistência e comportamento do solo.

Vale destacar que não foram usados códigos no formato de macros, pois muitos usuários tem dificuldade em habilitar essa funcionalidade em seu sistema operacional, e segundo a experiência do autor ele acaba tornando o sistema mais lento principalmente durante a inicialização, e em alguns casos pode apresentar erros, causando uma má experiência inicial dos usuários com o mesmo.

Como o objetivo do programa era ser o mais intuitivo possível, foram usados botões com emprego de hiperlinks. Sendo assim, para navegar no sistema basta o usuário clicar nos mesmos que será automaticamente direcionado para a página desejada, bem como voltar ao menu inicial, clicando sobre a logo do programa.

A seguir serão demonstradas algumas das telas do programa e de suas respectivas funcionalidades, bem como comentários sobre cada um deles. Embora em muitos casos não seja possível analisar os códigos, é importante destacar que seguem rigorosamente as fórmulas, métodos e tabelas indicadas no capítulo 3 deste trabalho, onde falamos sobre a metodologia de programação do mesmo.

Chamamos atenção para a concepção do *layout*, das cores e do arranjo criado para proporcionar uma ótima experiência de navegação aos usuários.

#### 4.1.1 TELA INICIAL DE ACESSO FOUNPROJECT

A primeira tela que o usuário encontrará ao acessar o programa é o menu inicial (indicado na figura 25). Aqui o é possível ter acesso aos primeiros comandos do programa. Neste momento, é possível selecionar os comandos desejados, bem como conhecer mais sobre o projeto, ter acesso as instruções de utilização, instruções de uso, conhecer ou contatar o desenvolvedor e iniciar de fato um o dimensionamento e projeto de uma fundação.

Figura 25: Tela inicial FOUNPROJECT



Fonte: Autoria própria (2019)

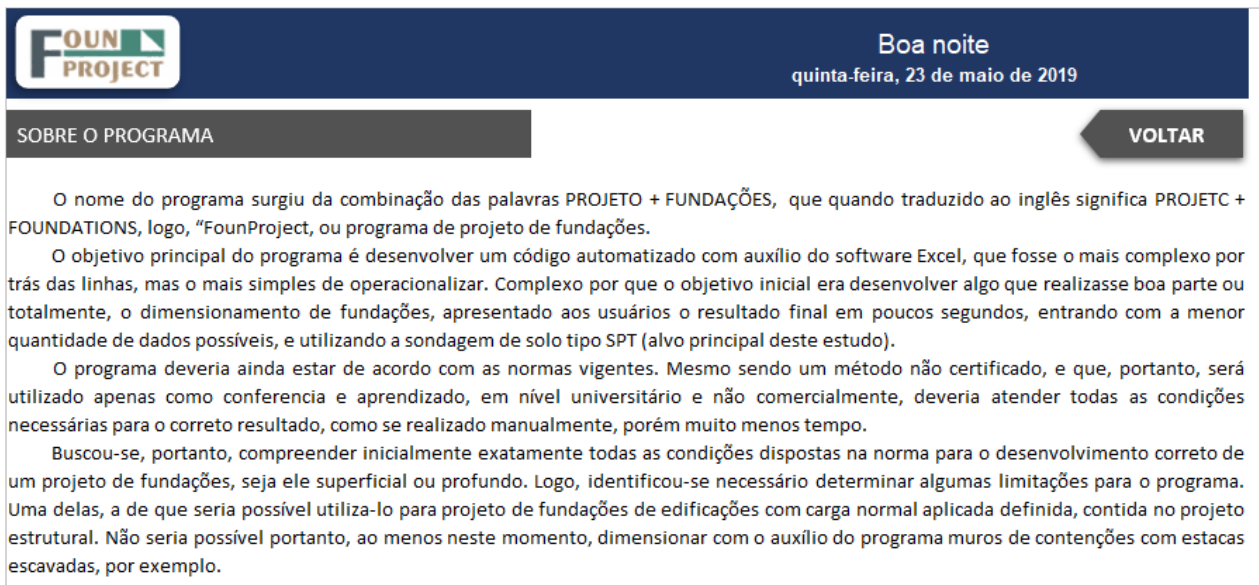
A faixa azul com a identificação de boas-vindas e com a data no canto superior direito, bem como a logo do programa, no canto superior esquerdo são fixos, ou seja, acompanham todas as telas. A logo também foi programada como um link, então sempre que o usuário clicar sobre ela, independente em qual etapa estiver (caso tenha alguma dúvida, ou queira corrigir alguma informação), será imediatamente direcionado para o menu inicial, indicado na imagem 25.

Em todas as telas existem botões vermelhos com um símbolo de interrogação (?). Ele deve ser selecionado sempre que o usuário tiver alguma dúvida sobre algum item específico desta etapa. Clicando sobre ele, o usuário será direcionado para a central de ajuda sobre o assunto.

#### 4.1.2 SOBRE O PROGRAMA

No menu inicial indicado na imagem 25, existe um botão chamado “sobre o programa” no qual o usuário é direcionado para a tela da imagem 26 indicada a seguir. Neste campo, existem informações referente a concepção do programa, suas funcionalidades, o motivo de sua concepção e seus principais objetivos. Esta é uma tela apenas para conhecimento, não há necessidade de nenhum preenchimento ou alteração. Serve apenas a título de curiosidade de seus usuários.

Figura 26: Sobre o programa - FOUNPROJECT



Fonte: Autoria própria (2019)

Para voltar ao menu inicial existem duas maneiras: clicando no botão voltar ao lado direito, ou clicando na logo do canto superior esquerdo conforme mencionado no tópico anterior.

O botão de voltar acompanha também todas as telas, e sempre que clicar sobre ela será direcionado para a página imediatamente anterior. Caso queira voltar ao menu inicial, basta acessar clicando sobre a logo do canto esquerdo superior.

### 4.1.3 INSTRUÇÕES DE USO

Também partindo do menu inicial temos uma tela com as instruções de uso do programa, conforme indicado pela imagem 27 a seguir.

Essa talvez seja uma das telas mais importantes para o usuário visualizar antes de iniciar qualquer dimensionamento, pois demonstra com precisão todos os procedimentos que devem ser realizados para que o resultado seja correto.

Neste momento temos a instrução em forma de passo a passo de como utilizar o programa. Apesar de procurar ser o mais intuitivo possível, caso o usuário tenha alguma dúvida específica de como utilizar as funções, é nesta tela que deve procurar, ou contatar diretamente o desenvolvedor (imagem 29).

Figura 27: Instruções de uso FOUNPROJECT (apenas parcial)

**FOUNPROJECT** Boa noite  
terça-feira, 28 de maio de 2019

**INSTRUÇÕES DE USO** **VOLTAR**

**Bem vindo!**  
Você está na central de ajuda e instruções de uso do **FOUNPROJECT**.  
Aqui você tem o manual passo a passo de como utilizar da melhor maneira o programa, de suas funcionalidades.

Para uma melhor experiência, é recomendado que você imprima esta manual (CLTR + P) e realize seus dimensionamentos com este documento em mãos.

Lembramos que este programa está em sua primeira versão, em fase de testes. Não pode ser de maneira alguma utilizado comercialmente. **Os desenvolvedores não se responsabilizam por qualquer uso inadequado da ferramenta, ou por qualquer erro que possa apresentar.**

Caso não tenha sua dúvida esclarecida neste manual, nos envie um email: [jair.rodriigo.k@hotmail.com](mailto:jair.rodriigo.k@hotmail.com)

**1 - INFORME OS DADOS DO SPT**

**DADOS DA SONDAÇÃO SPT**

| SONDAGEM     | 1    | 2                    | 3 |
|--------------|------|----------------------|---|
| Profundidade | NSPT | Tipo de Solo         |   |
| 0,00 m       | 0    | Areia siltosa        |   |
| 1,00 m       | 7    | Areia silto-argilosa |   |
| 2,00 m       | 15   | Areia argilosa       |   |
| 3,00 m       | 6    | Areia argilo-siltosa |   |

**SOBRE O SPT**  
O primeiro passo para iniciar o dimensionamento é informar os dados da sondagem SPT realizada em campo. Neste momento, o programa permite apenas lançar uma sondagem por vez.

O sistema permite informar valores de NSPT para a profundidade variando de 0 até o limite de 40 metros, podendo ser informado menos do que o limite.

Fonte: Autoria própria (2019)

Conforme já mencionado, em todas as páginas existem uma ou mais centrais de dúvidas, onde é possível ser direcionado diretamente para o campo do manual de instruções onde se encontra a explicação e funcionalidade deste item.

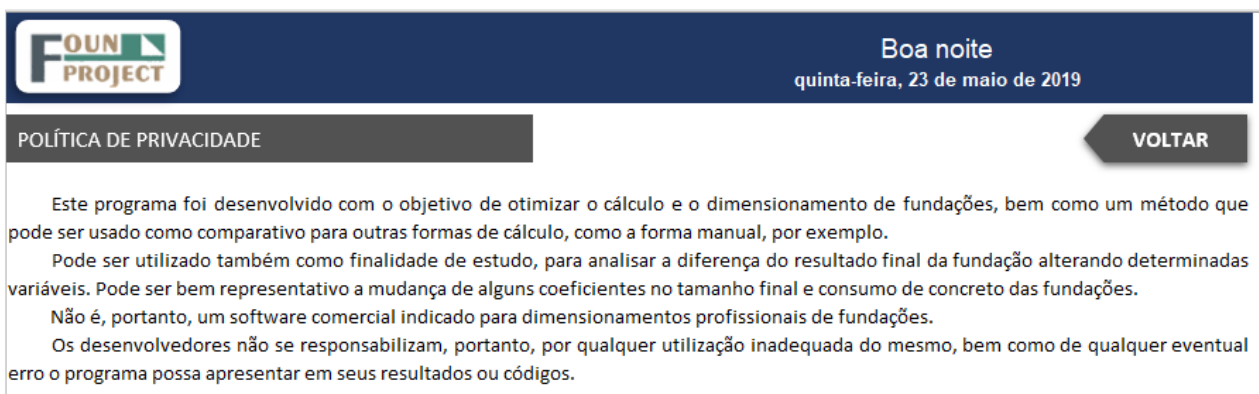
Como o manual é demasiado extenso, ele será disponibilizado em sua integralidade ao final deste trabalho, nomeado ANEXO B. Caso o leitor tenha alguma dúvida, este documento procura com precisão descrever todas as funcionalidades e métodos do programa.

#### 4.1.4 POLÍTICA DE PRIVACIDADE

O autor deste trabalho, bem como do programa FOUNPROJECT desenvolveu esta tela para isentar-se de qualquer mal-uso do programa, ou de qualquer erro que possa vir a apresentar em algum cálculo específico.

Como o programa não é um *software* comercial, não se pode, nem é recomendado que seja utilizado profissionalmente. Conforme já foi mencionado inúmeras vezes no decorrer deste trabalho, o objetivo do programa é apenas acadêmico, para análise de dados, comparativo de resultados, verificação de causa e consequência (alterar coeficientes iniciais para avaliar a consequência nas dimensões das fundações), entre outros.

Figura 28: Política de privacidade FOUNPROJECT



Fonte: Autoria própria (2019)

O autor não se responsabiliza, portanto, por qualquer erro que o mesmo possa apresentar, mas coloca-se a disposição para auxiliar com dúvidas, ou aprimorar suas funcionalidades sempre que for possível. As funções do FounProject versão 01.05.19 ainda são limitadas, pois atendem apenas o que foi necessário para desenvolver e analisar o objetivo principal deste trabalho: o SPT. Porém, é sabido que muitas novas funcionalidades podem ser implementadas em suas versões futuras.

Vale destacar que todos os códigos estão bloqueados com senha, e, portanto, não é possível que seja feita qualquer implementação ou alteração no mesmo, sem liberação e autorização do autor. Os únicos campos que podem ser alterados são onde devem ser preenchidas as informações de entrada.

#### 4.1.5 SOBRE O DESENVOLVEDOR

No menu inicial existe também um botão chamado “Sobre o desenvolvedor”. Ao acessar esta tela, o usuário é direcionado para a página da imagem 29 indicada abaixo. Serve basicamente para destinar os créditos ao criador do programa, ou fins de contato ou dúvidas.

Figura 29: Sobre o desenvolvedor - FOUNPROJECT



Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.1.6 ENTRADA DE DADOS DO SPT

Após apresentação de algumas telas que são apenas informativas, iniciamos aqui a apresentação do que realmente precisa ser preenchido para que o programa possa realizar os cálculos. Neste tópico, falaremos sobre os dados de entrada do SPT.

No menu inicial existe um botão na cor verde (para chamar atenção do usuário) que direciona para a tela indicada pela imagem 30 conforme abaixo.

Aqui, devem ser preenchidos os valores da sondagem de campo SPT. Existem espaços para informações de 0 até 40 metros (entende-se suficiente para a grande maioria, ou todos, dos ensaios SPT realizados). Também aqui deve ser escolhida entre as opções disponíveis o tipo de solo desta camada. Vale lembrar que essa informação também está disponível no relatório de sondagem, basta verificar e alterar no programa.

Figura 30: Dados de entrada do SPT – FounProject

| Profundidade | NSPT | Tipo de Solo   |
|--------------|------|----------------|
| 0,00 m       | 0    | ARGILA SILTOSA |
| 1,00 m       | 7    | ARGILA SILTOSA |
| 2,00 m       | 15   | ARGILA SILTOSA |
| 3,00 m       | 20   | ARGILA SILTOSA |
| 4,00 m       | 22   | ARGILA SILTOSA |
| 5,00 m       | 25   | ARGILA SILTOSA |
| 6,00 m       | 26   | ARGILA SILTOSA |
| 7,00 m       | 28   | ARGILA SILTOSA |
| 8,00 m       | 29   | ARGILA SILTOSA |
| 9,00 m       | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 10,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 11,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 12,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 13,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 14,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 15,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 16,00 m      | 30   | ARGILA SILTOSA |
| 17,00 m      | 35   | ARGILA SILTOSA |
| 18,00 m      | 36   | ARGILA SILTOSA |
| 19,00 m      | 37   | ARGILA SILTOSA |

Fonte: Autoria própria (2019)

Nesta primeira versão, só é possível entrar com uma sondagem por vez, dimensionando uma fundação por vez também. É sabido que pode ser implementado um código capaz de desenvolver estes cálculos em série. Também existe a possibilidade de criar várias telas onde seria possível preencher várias sondagens, e depois durante o cálculo o usuário escolher qual SPT deseja usar para a fundação calculada. Não é o que programa faz neste momento, mas pode ser melhorado nas próximas versões.

Após completar (e cautelosamente conferir) as informações contidas no SPT, basta clicar no botão voltar ou na logo do programa para retornar ao menu inicial, para selecionar o tipo de fundação, conforme apresentada no próximo tópico.

#### 4.1.7 FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Do menu inicial, é possível escolher entre fundação superficial ou profunda. Quando clicado sobre o botão “fundação superficial” o usuário será direcionado para uma tela semelhante à figura 31, onde será possível selecionar o tipo de fundação superficial. Neste momento a única opção disponível é para sapata isolada. Novos itens poderão ser adicionados em breve.

Figura 31: Tela de escolha do tipo de Fundação Superficial

Fonte: Autoria própria (2019)

#### 4.1.7.1 SAPATA ISOLADA

Clicando sobre o botão sapata isolada, o usuário será direcionado diretamente para a tela do dimensionamento da fundação, conforme indicado na figura 32. Conforme já relatado neste trabalho, o objetivo sempre foi ser intuitivo, de fácil operacionalização. Sendo assim, os únicos valores que devem ser alterados estão destacados em vermelho. Os demais estão disponíveis apenas para conhecimento das variáveis, e estes campos não podem ser alterados, por isso estão bloqueados para edição. Importante destacar que devem ser informados APENAS NÚMEROS, pois a sua unidade de medida é definida automaticamente pelo programa.

Figura 32: Tela de dimensionamento de uma Sapata Isolada

Boa noite  
terça-feira, 28 de maio de 2019

FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Complete os campos em **vermelho**

SAPATA ISOLADA

Coef. Segurança: **2,00**  
Profundidade (D): **2,00 m**  
Altura de solo (d): 1,55 m

DIMENSÕES DO PILAR

Carga do pilar: **1.500,00 kN**  
a: **0,25 m**  
b: **0,90 m**

COEFICIENTES DE CÁLCULO

NSPT: 15,00  
NSPT, 60: 18,00  
 $Y_n$ : 19,89 kN/m<sup>3</sup>  
 $c$ : 100,00 kPa  
 $c'$ : 100,00 kPa  
 $q$ : 30,83 kPa  
 $\phi$ : 32,32 °  
 $\phi'$ : 32,32 °  
 $N_c$ : 35,49  
 $N_q$ : 23,18  
 $N_y$ : 30,22  
 $N_q/N_c$ : 0,65  
 $tg\phi$ : 0,62  
 $S_c$ : 1,29792  
 $S_q$ : 1,28417  
 $Y$ : 0,81667

DIMENSÕES DA BASE

A: **0,55 m**  
B: **1,20 m**  
Sugestão de A: 0,50 m  
Sugestão de B: 1,15 m

CÁLCULO ABAS IGUAIS

X: 0,30 m  
Y: 0,30 m

VERIFICAÇÃO

Área mínima: **0,583 m<sup>2</sup>**  
Área fundação: **0,660 m<sup>2</sup>**

DIMENSÕES DA ALTURA

Concreto

Fck 20  

Diâmetro da Amadura

 $\phi$  12,5  

Acoragem da Armadura

Com Granco  

Cobrimento (c): 5,00 cm

H: 0,45 m  
h: 0,20 m

RESISTÊNCIA DO SOLO

 $\sigma_R$ : 5.658,94 kPa  
 $\sigma_{adm}$ : **2.829,47 kPa**

VOLTAR

APROVADO

APROVADO

APROVADO

APROVADO

0,238 m<sup>3</sup>

Fonte: Autoria própria (2019)

Nesta tela (figura 32) existe a representação de uma sapata em planta e em corte, e as descrições de cada letra que devem ser informadas, para que seja fácil de o usuário compreender.

Após entrar com os valores do projeto estrutural (carga no pilar e suas dimensões), e informar também a profundidade (D) e o coeficiente de segurança, o programa já faz uma pré análise de qual tamanho de fundação é necessária. Com estas informações o sistema procura nas tabelas os valores dos coeficientes, faz os cálculos e apresenta os resultados em menos de 0,5 segundos.

Inicialmente, com a altura D informada, o programa procura nos valores do SPT qual o respectivo valor de resistência nesta profundidade. Após isso, ele calcula o  $NSPT_{60}$  de forma semi-empírica, utilizando a fórmula de Ruver e Consoli (2006), valor este de cálculo. Para variar o NSPT, portanto, basta o usuário variar a profundidade (D). Caso seja informado um valor de profundidade que não esteja disponível (acima do limite que a sondagem apresenta, informada na respectiva tela) o programa apresenta a seguinte mensagem: “diminua D” informando que esta profundidade não existe na sondagem de campo, e, portanto, não há informações sobre a resistência do solo nesta camada.

Após o programa segue automaticamente sua análise. Procura agora qual o Peso Específico ( $\gamma_n$ ) de acordo com as tabelas de Godoy (1972) que foram interpoladas, para o NSPT que acabara de calcular. Depois, também com o NSPT o sistema procura na tabela de Alonso (1943), que também interpolamos, o valor da Coesão ( $c$ ).

Depois, o sistema faz o cálculo do ângulo de atrito interno. Conforme já mencionado, ele faz o cálculo avaliando as equações de Godoy (1983) e Teixeira (1996) (ambos já apresentadas nesta pesquisa), e retorna o menor valor dos dois, com objetivo de aumentar a segurança.

Segundo Wayhs (2018), e também com base nas equações de Terzaghi, quando o valor do NSPT é menor do que 9, é necessário fazer a redução da Coesão ( $c'$ ) e do ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ) em  $2/3$ . O programa também faz isso. Quando NSPT é menor do que 9 o sistema faz a redução destes coeficientes, se não ele atribui a eles o valor original.

Quando estes fatores já estão calculados, o programa procura em seu banco de dados os respectivos valores de capacidade de carga ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$ ,  $N_q/N_c$  e  $tg\phi$ ), que serão usados posteriormente na equação de Terzaghi. Ele procura pelo valor base de ( $\phi'$ ), e retorna todas as condições para este ângulo, de acordo com as tabelas já apresentadas anteriormente.

Por fim, no campo das variáveis o programa calcula ainda os fatores de forma, de acordo com as fórmulas (De Beer) já apresentadas anteriormente, e retorna os respectivos valores dos coeficientes de  $Sc$ ,  $Sq$  e  $Sy$ .

Após todas essas variáveis disponíveis, o sistema calcula a equação de Terzaghi, e retorna a tensão de resistência do solo, e logo após a tensão admissível com base no fator de segurança informado. Importante destacar que embora seja um trabalho extenso até este ponto, se realizado a mão, o programa realiza todos os cálculos descritos acima com facilidade e agilidade, e apresenta seus resultados em menos de 1 segundo.

Após ser lançado pela primeira vez os valores de A e B destacados em vermelho (recomenda-se variar de 5 em 5 cm), o programa refina os resultados, e apresenta sugestões de A e B imediatamente abaixo. Em cada alteração destes valores, o sistema apresenta novas sugestões de um melhor refinamento. O objetivo principal é que a área da fundação esteja o mais próximo possível da área mínima que o programa calculou, embora minimamente acima, e que tenha abas iguais. Recomenda-se inicialmente entrar com valores de A e B altos, como 5 metros. O programa fará sugestões possivelmente bem menores, e então deve-se ir diminuindo ambos valores, até chegar na melhor condição possível. Após vários testes, verificou-se que em poucas modificações já é possível chegar no melhor resultado possível.

Quando os valores de A e B são informados, mesmo que como uma prévia apenas, o sistema calcula a tensão do solo, bem como a tensão admissível considerando o coeficiente de segurança. Com os valores da resistência são calculados, é automaticamente apresentado a área mínima que a fundação deve ter.

Quando as duas condições estiverem aprovadas (abas iguais – valor de  $X$  e  $Y$  devem ser iguais - e área de fundação minimamente maior do que a área mínima), esta etapa está concluída, e pode-se passar então para o cálculo da altura.

Nesta etapa as condições são mais restritas, e assim existem seletores para escolher as condicionantes disponíveis. É necessário selecionar a resistência do concreto, o diâmetro da armadura, definir se a armadura é com ou sem gancho e ainda definir o cobrimento da mesma. O programa só calcula quando todas as informações estiverem disponíveis, e apresenta logo após os valores de ' $H$ ' e ' $h$ '.

Os valores serão sempre apresentados para uma melhor execução em campo, e, portanto, variam de 5 em 5 centímetros. Se o resultado exato for de 43 centímetros, por exemplo, o código analisa e apresenta o resultado arredondado imediatamente para maior (variando de 5 em 5), ou seja, 45 cm, por questões de segurança.

A altura de solo ( $d$ ) que está acima da fundação é utilizada pelo programa para calcular a sobrecarga ( $q$ ) (equação de Terzaghi), que é base para todas as variáveis do desenvolvimento que são calculadas automaticamente. Porém a altura de solo ( $d$ ) nada mais é do que a diferença da profundidade onde a fundação está apoiada ( $D$ ) pela altura da mesma ( $H$ ). Sendo assim, o cálculo de ( $d$ ) é realizado automaticamente.

Após o cálculo final da altura da fundação é possível que o valor de ( $d$ ) inicial se altere, uma vez que a altura será maior ou menor de acordo com os valores que serão informados, variando, portanto, ( $H$ ). Sendo assim, condições anteriormente satisfeitas podem passar a ser reprovadas. Isto faz parte de um refinamento preciso, mas muito importante. Eventualmente, portanto, será necessário alterar novamente pequenos valores nas dimensões da base da fundação ( $A$  e  $B$ ) para satisfazer novamente as condicionantes, ou variar dados alimentados no cálculo da altura.

Outra sugestão que pode ser aplicada, é iniciar o dimensionamento calculando primeiro a altura. Desta maneira, o valor de ( $d$ ) já inicia fixo e definido no banco de dados do programa e o dimensionamento da base da fundação não necessitará ser alterado posteriormente.

Importante saber também que a qualquer momento o usuário pode alterar a profundidade ( $D$ ) onde a fundação está apoiada. Esta modificação fará uma completa alteração das condicionantes do cálculo, pois altera o valor do NSPT que foi definida para esta cota (informada anteriormente, na tela do NSPT). Quando o NSPT altera, todos os demais valores alteram automaticamente e instantaneamente, pois o sistema busca em seu banco de dados qual o valor correto de cada variável. Aqui entra uma boa oportunidade de análise. Como tudo é automatizado, é possível analisar a consequência final (consumo de concreto) modificando apenas a profundidade. Em alguns casos, apoiando a fundação em um solo mais resistente pode-se obter uma significativa redução nas dimensões da fundação.

Quando todos os campos estiverem preenchidos e as três condições aprovadas, o dimensionamento está concluído. Neste momento vale o usuário conferir novamente como estão os resultados da área/área mínima, para evitar que a fundação tenha um tamanho maior do que o necessário.

O programa resulta ainda no final o consumo exato de concreto para executar uma unidade desta fundação. Sabe-se que este valor é teórico, ou seja, somente caso a fundação seja executada conforme as dimensões de projeto, sem qualquer pequena falha. Recomenda-se, portanto, acrescentar de 5% a 10% além do volume calculado para possíveis perdas ou falhas nas formas durante a execução em campo.

Após concluído, também já está configurado no programa o campo de impressão de cada tela do sistema. Para uma melhor experiência, recomenda-se utilizar as teclas de atalho CLTR + P para imprimir, ou a tecla F12 para salvar como PDF.

#### 4.1.8 FUNDAÇÃO PROFUNDA

Conforme o exemplo anterior, a partir do menu inicial, é possível escolher entre fundação superficial ou profunda. Aqui, quando é clicado sobre o botão “fundação profunda” o usuário será direcionado para uma tela semelhante à figura 33, onde será possível selecionar o tipo de fundação profunda. Neste momento a única opção disponível é para estaca escavada. Também novos itens poderão ser adicionados em breve.

Figura 33: Tela de escolha do tipo de Fundação Profunda

Fonte: Autoria própria (2019)

Está também em processo de desenvolvimento novas funcionalidades para outros tipos de fundação superficial, e neste caso, fundação profunda. Para a segunda, em breve será disponibilizada a página de cálculo do tubulão, e na sequência as demais descritas na figura 33 acima.

A programação dos códigos é algo que demanda um tempo considerável, e precisa ser cuidadosamente analisado e testado diversas vezes, observando todas as possibilidades que o usuário possa vir a executar. Em muitos casos, leva-se mais tempo desenvolvendo códigos para travas ou erros, do que propriamente criando o sistema de cálculos.

#### 4.1.8.1 ESTACA ESCAVADA

Clicando sobre o botão estaca escavada, o usuário será imediatamente direcionado para a tela do dimensionamento da fundação, conforme indicado na figura 34. Assim como na sapata isolada, esta página tem o objetivo de ser muito intuitiva, de fácil operacionalização. Sendo assim, os únicos valores que devem ser alterados estão destacados em vermelho. Os demais estão disponíveis apenas para conhecimento das variáveis, e estes campos não podem ser alterados, e, portanto, estão bloqueados para edição.

Importante destacar novamente que devem ser informados APENAS NÚMEROS, pois a sua unidade de medida é definida automaticamente pelo programa.

Figura 34: Tela de dimensionamento de uma Estaca Escavada

Boa noite

terça-feira, 28 de maio de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em **vermelho**

**ESTACA ESCAVADA**

Coef. Segurança: **2,00**

Diâmetro estaca (d): **40,00 cm**

Fck concreto estaca: **30 MPa**

**INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: **600,00 kN**

a: **45,00 cm**

b: **20,00 cm**

Armaduras: **6  $\phi$**

Diâmetro armaduras: **16,00 mm**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 5.385,59 kN

K: 400,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 12.000,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 1.507,96 kN

qs: 110,00 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.729,97 kN

Qtotat: 3.237,93 kN

Q/CS: 1.618,97 kN

dmin: 48,75 cm

dmax: 69,23 cm

lb: 52,80 cm

estacas: 2 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: ☐ 1 ☒ 2

Profundidade (H): **15,0 m**

Resistência: 3.237,93 kN

APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 18,850 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,865 m<sup>3</sup>

Total: 19,714 m<sup>3</sup>

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: 80,00 cm

A: 190,00 cm

B: 70,00 cm

h: 65,00 cm

APROVADO

Fonte: Autoria própria (2019)

O primeiro dado que deve ser informado é o coeficiente de segurança. Mesmo sendo este um valor fixo definido pela norma, é possível alterá-lo dentro do programa. O objetivo da permissão desta modificação é o usuário avaliar a influência deste parâmetro no resultado da fundação. Tem finalidade de estudo.

Após este passo, é necessário informar o diâmetro da estaca e a resistência do concreto. Estes valores podem ser informados nesta etapa apenas como valores aproximados ou genéricos, pois o programa só inicia o dimensionamento quando estas variáveis foram diferentes de 0. Após o sistema calcular, é possível retornar para este campo e modificar estes valores, com o objetivo de satisfazer as condições necessárias até aprovar a fundação.

Nas informações sobre o pilar, devem ser informados suas condições geométricas, e também sua armadura. Também precisa ser definida a carga que será transferida do pilar à fundação. Estes valores estão normalmente disponíveis no projeto estrutural, e podem ser basicamente apenas transferidos para estes campos do FounProject. Mais uma vez, é importante ressaltar que devem ser informados em todos os campos do programa, em qualquer etapa ou tela que esteja, apenas os NÚMEROS. As unidades de medida estão programadas, e são completadas automaticamente pelo sistema.

É necessário também selecionar inicialmente quantas estacas pretende-se executar (nesta versão do programa é possível selecionar uma ou duas), bem como uma profundidade aproximada (H). Todos os valores, porém, podem ser alterados posteriormente. É necessário completar todos os campos apenas para que o sistema possa iniciar o dimensionamento.

De posse destas informações, o programa inicia o processamento dos coeficientes de cálculo. A primeira verificação que é feita, é se a(s) estaca(s) resiste(m) à(s) carga(s). Para fazer isso, é calculado a resistência da estaca usando o diâmetro e a resistência do concreto. Se a resistência for maior do que a carga do pilar, o sistema segue adiante. Do contrário, resulta na mensagem “Aumente (d) ou (Fck). A estaca não resiste à carga”.

O próximo passo é verificar a resistência do solo ( $K$ ) de acordo com a sua condição quanto ao seu material constituinte, informada na tela do NSPT (por isso a importância de informar corretamente, e conferir os dados informados). O programa faz isso automaticamente, e procura os dados para a profundidade ( $H$ ) informada.

Também com base na profundidade ( $H$ ), várias outras condições são procuradas e definidas pelo sistema. Para o dimensionamento, sabe-se conforme informado que o programa usa o método de Décourt – Quaresma para realização de seus cálculos. Sendo assim, todas as demais variáveis são calculadas e apenas a sua resultante é apresentada instantaneamente na tela do dimensionamento. São elas:  $qp$ ,  $Qp$ ,  $qs$ ,  $Qs$ ,  $Qtotal$  e  $Q/Cs$ .

Após lançar todos os valores, é hora do dimensionamento. O objetivo final nesta etapa é que a resistência da estaca no solo, ou das estacas, seja minimamente superior a carga do pilar. Quando isso acontece, o sistema informa “Aprovado” na cor verde, caso contrário, a informação resulta em “Reprovado” na cor vermelha. A cor amarela seguida de alguma informação significa que faltam dados para o cálculo.

Aqui o usuário pode literalmente brincar com as variáveis que podem ser alteradas, variando quais entender melhor, até que a resistência esteja minimamente acima da carga do pilar. Toda modificação altera instantaneamente todos os coeficientes, em menos de 1 segundo. Fazer estas análises manualmente poderia levar horas. Não se recomenda alteração das informações do pilar pois fazem parte do projeto estrutural, mas podem ser alteradas o diâmetro da estaca, a resistência do concreto, a profundidade da estaca e a quantidade delas (até duas, por enquanto).

Se o valor da profundidade for acima do que foi informado anteriormente nos dados do SPT, o programa exibe a mensagem “Diminua a profundidade” em amarelo, em várias variáveis. Isso acontece por que não há dados de NSPT para aquela profundidade, e, portanto, não é possível calcular. Caso se atinja a profundidade máxima do SPT e ainda assim não seja satisfeita a resistência, recomenda-se aumentar inicialmente o diâmetro da estaca ( $d$ ). Pode-se também aumentar de 1 para 2 o número de estacas, e por fim aumentar a resistência do concreto (última alternativa).

No programa também está disponível a verificação do dimensionamento do bloco. As variáveis que são calculadas estão descritas no programa na imagem da fundação. Esta etapa é feita automaticamente, e o usuário não precisa alterar nada. O valor de  $(e)$  é somente calculado quando é selecionada a opção de duas estacas, e este valor corresponde a distância entre as mesmas. Os valores de  $(A)$  e  $(B)$  são as dimensões em planta, de altura e largura. Estes são calculados verificando as dimensões do pilar e da estaca, deixando uma folga de 15 centímetros de cada lado da maior peça, conforme solicita a norma 6122 (ABNT, 2010).

O valor da altura do bloco  $(h)$  é calculado observando a transmissão direta das cargas, da base do pilar até o topo das estacas. Para o dimensionamento, é utilizado o método da compressão das bielas, variando de 45 a 55°, estando a favor da segurança e evitando ruptura por punção. (RODRIGUES, 2018).

Na tela do dimensionamento, estas variáveis são apresentadas como  $(dmin.)$  e  $(dmax.)$ . Após isso, o sistema verifica ainda a altura de ancoragem  $(lb)$  do pilar, que depende diretamente de sua armadura e da resistência do concreto. Por isso é importante informar os valores do diâmetro das armaduras corretamente, no campo onde é solicitada tal informação. É analisado neste momento se a ancoragem  $(lb)$  está entre os valores de  $(dmin.)$  e de  $(dmax.)$ . Se estiver, a resultante de  $(d)$  é  $(lb)$  arredondado a múltiplos de 5 centímetros para maior. Caso esteja abaixo de  $(dmin.)$ , o valor de  $(d)$  será  $(dmin.)$ , também arredondado. Se estiver acima da altura máxima, o programa informa que não é possível calcular com os parâmetros definidos, e sugere que seja aumentado o diâmetro da estaca. Normalmente alterar este parâmetro já é suficiente. O importante e ideal é que a altura de ancoragem esteja entre a altura mínima e máxima calculada. Posterior, a altura total do bloco  $(h)$  é a soma de  $(d) + (d' - \text{cobrimento})$ .

Todas as variáveis do bloco estão programadas para resultar valores alternando de 5 em 5 centímetros, com objetivo de facilitar a execução em campo. Os resultados são arredondados sempre para maior, para fins de segurança.

Como acontece na sapata isolada, o programa também resulta no final o volume de concreto exato que será consumido pela estaca e pelo bloco, bem como a soma de ambos.

## 4.2 EFICIÊNCIA DO SPT

Para descobrir a variação da eficiência do ensaio, foi necessário descobrir inicialmente a variação da energia, através da equação 11 abaixo:

$$U = Mm * g * hq \quad (11)$$

Onde,

***U***: Energia, em Joules

***Mm***: Massa do Martelo, em kg

***g***: Aceleração da gravidade, em m/s<sup>2</sup>

***hq***: Altura de queda do martelo, em metros

Os valores da massa do martelo (65kg) e da aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>) foram mantidas constantes, alterando apenas a altura de queda, para assim descobrir a variação da energia, em Joules.

De posse do resultado da energia do golpe de acordo com a variação da altura, e também de posse da energia padrão com queda a 75 cm (478,24 J), foi possível correlacionar linearmente para descobrir a eficiência, utilizando a equação 12 a seguir:

$$\eta = Eh / E \text{ Padrão} * 100 \quad (12)$$

Onde,

***η***: Eficiência do ensaio, em percentual (%)

***Eh***: Energia analisada, em Joules

***Epadrão***: Energia padrão do método: 478,24 J

Após a realização destas correlações, temos abaixo na figura 35 uma tabela com as respectivas energias e eficiências, com base na variação unicamente da altura. Veja o leitor que os demais coeficientes permanecem constantes. Está destacada na imagem o valor correto, a energia padrão que deveria ser aplicada em cada golpe. Porém, como já foi apresentado neste trabalho através de referências de diversos autores, em muitos casos a altura de queda pode variar. Sendo assim, abaixo temos a resultante destas variações;

Figura 35: Variação da energia de acordo com a altura de queda

| Massa | Gravidade             | Alt. de Queda | Energia  | $\eta$  |
|-------|-----------------------|---------------|----------|---------|
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 95 cm         | 605,77 J | 126,67% |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 90 cm         | 573,89 J | 120,00% |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 85 cm         | 542,00 J | 113,33% |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 80 cm         | 510,12 J | 106,67% |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 75 cm         | 478,24 J | 100,00% |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 70 cm         | 446,36 J | 93,33%  |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 65 cm         | 414,47 J | 86,67%  |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 60 cm         | 382,59 J | 80,00%  |
| 65 kg | 9,81 m/s <sup>2</sup> | 55 cm         | 350,71 J | 73,33%  |

Fonte: Autoria própria (2019)

De posse destas informações, foi necessário elaborar uma correlação da eficiência, com o resultado do NSPT. Para isso, utilizamos uma sondagem de SPT que foi considerada padrão, e está disponível para verificação no ANEXO A deste trabalho.

Como já temos os valores da eficiência acima indicados, neste trabalho correlacionamos o NSPT linearmente com a eficiência, produzindo os respectivos valores disponíveis na figura 36. Porém, como já foi mencionado, esta relação deve ser inversamente proporcional. Por exemplo: Quando o peso padrão cai de uma altura maior do que o recomendado, como 85 cm, ele irá produzir maior energia sobre a haste (542,00 J). Logo, sua eficiência será maior do que 1, resultando em 113,33% (indicado na figura 35). Se a energia é maior, a haste tende a penetrar com maior facilidade no solo, e o NSPT será menor, indicando um solo menos resistente.

Por exemplo: O NSPT para uma profundidade de 13 metros que originalmente era 32, deve ser reduzido para que seja possível a realização do presente estudo. Fazendo as devidas correções, temos um NSPT para 13 metros com eficiência de 113,33% em 27,7.

Nos casos em que a eficiência é menor, onde o peso padrão cai de uma altura inferior a recomendada pela norma, temos uma situação contrária. Neste caso, serão necessários mais golpes para produzir o mesmo somatório de energia. Sendo assim, o SPT deve ser majorado para nosso objeto de estudo.

Partindo deste conceito, foram realizados os cálculos para todas as profundidades do SPT padrão que está sendo analisado, bem como para suas respectivas variações de altura, para mais e para menos. Os resultados estão contidos na figura 36 abaixo.

Figura 36: Valores do NSPT corrigidos pela variação da eficiência

| Prof.  | NSPT Correto | Valores NSPT corrigidos pela EFICIÊNCIA (inversamente proporcional lineamente) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |              | 95 cm                                                                          | 90 cm | 85 cm | 80 cm | 75 cm | 70 cm | 65 cm | 60 cm | 55 cm |
| 1,0 m  | 0,0          | 0,0                                                                            | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 2,0 m  | 8,0          | 5,9                                                                            | 6,4   | 6,9   | 7,5   | 8,0   | 8,5   | 9,1   | 9,6   | 10,1  |
| 3,0 m  | 14,0         | 10,3                                                                           | 11,2  | 12,1  | 13,1  | 14,0  | 14,9  | 15,9  | 16,8  | 17,7  |
| 4,0 m  | 16,0         | 11,7                                                                           | 12,8  | 13,9  | 14,9  | 16,0  | 17,1  | 18,1  | 19,2  | 20,3  |
| 5,0 m  | 17,0         | 12,5                                                                           | 13,6  | 14,7  | 15,9  | 17,0  | 18,1  | 19,3  | 20,4  | 21,5  |
| 6,0 m  | 22,0         | 16,1                                                                           | 17,6  | 19,1  | 20,5  | 22,0  | 23,5  | 24,9  | 26,4  | 27,9  |
| 7,0 m  | 29,0         | 21,3                                                                           | 23,2  | 25,1  | 27,1  | 29,0  | 30,9  | 32,9  | 34,8  | 36,7  |
| 8,0 m  | 28,0         | 20,5                                                                           | 22,4  | 24,3  | 26,1  | 28,0  | 29,9  | 31,7  | 33,6  | 35,5  |
| 9,0 m  | 22,0         | 16,1                                                                           | 17,6  | 19,1  | 20,5  | 22,0  | 23,5  | 24,9  | 26,4  | 27,9  |
| 10,0 m | 30,0         | 22,0                                                                           | 24,0  | 26,0  | 28,0  | 30,0  | 32,0  | 34,0  | 36,0  | 38,0  |
| 11,0 m | 28,0         | 20,5                                                                           | 22,4  | 24,3  | 26,1  | 28,0  | 29,9  | 31,7  | 33,6  | 35,5  |
| 12,0 m | 30,0         | 22,0                                                                           | 24,0  | 26,0  | 28,0  | 30,0  | 32,0  | 34,0  | 36,0  | 38,0  |
| 13,0 m | 32,0         | 23,5                                                                           | 25,6  | 27,7  | 29,9  | 32,0  | 34,1  | 36,3  | 38,4  | 40,5  |
| 14,0 m | -            | -                                                                              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 15,0 m | -            | -                                                                              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |

Fonte: Autoria própria (2019)

A figura 36 é um resumo do que o trabalho pretende esclarecer, e desta tabela serão retirados os valores corrigidos do NSPT para realização dos devidos dimensionamentos das fundações para que seja possível comparar o consumo de concreto.

Para o dimensionamento das fundações, foram usados os mesmos parâmetros de concreto armado, quantidade de armadura, diâmetro da armadura, resistência do concreto, profundidade de apoio da sapata isolada, coeficiente de segurança e demais variáveis. Foram apenas alterados no sistema FounProject os valores do NSPT de acordo com a figura 36.

Como já foi esclarecido, o sistema desenvolvido para auxiliar no dimensionamento faz o arredondamento das dimensões finais da fundação de 5 em 5 cm, sempre para maior. Sendo assim, em alguns casos não houve alteração do consumo de concreto, pois a alteração do SPT não foi representativa.

Abaixo na figura 37 e 38 temos os valores de consumo de concreto para diferentes alturas de queda do peso padrão, e sua respectiva variação em percentual com o consumo de concreto ideal (com o valor do NSPT correto). Nestas figuras, temos as variações para a sapata isolada (exemplo de fundação superficial) e estaca escavada (exemplo de fundação profunda). O objetivo aqui não é comparar os dois tipos de fundação, mas analisar as características de cada um individualmente.

Na figura 37, temos as variações para alturas de queda maiores do que o ideal, e acima dos limites permitidos pela norma, com a tolerância de 5 cm para mais ou para menos. Quando a eficiência é maior do que 100%, o solo tende a se demonstrar menos resistente, e logo o consumo de concreto possivelmente será maior. Em alguns casos, conforme é apresentado abaixo, a variação pode ultrapassar os 50%.

Figura 37: Variação do consumo de concreto, eficiência > 100%

| Fundação        | Variação do consumo de concreto |                      |        |                      |        |                      |        |
|-----------------|---------------------------------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|                 | 75 cm                           | 95 cm                |        | 90 cm                |        | 85 cm                |        |
| Sapata Isolada  | 0,179 m <sup>3</sup>            | 0,306 m <sup>3</sup> | 70,95% | 0,251 m <sup>3</sup> | 40,22% | 0,251 m <sup>3</sup> | 40,22% |
| Estaca Escavada | 2,836 m <sup>3</sup>            | 4,037 m <sup>3</sup> | 42,35% | 4,037 m <sup>3</sup> | 42,35% | 3,033 m <sup>3</sup> | 6,95%  |

Fonte: Autoria própria (2019)

A seguir, na figura 38, temos a variação de consumo quando a altura de queda é menor do que a ideal. Neste caso a eficiência passa a ser menor do que 100%, e o solo se demonstrará mais resistente do que pode ser. Logo o consumo de concreto possivelmente será menor.

Figura 38: Variação do consumo de concreto, eficiência &lt; 100%

| Fundação        | Variação do consumo de concreto |          |         |          |         |         |         |
|-----------------|---------------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|
|                 | 75 cm                           | 65 cm    |         | 60 cm    |         | 55 cm   |         |
| Sapata Isolada  | 0,179 m³                        | 0,158 m³ | -11,73% | 0,158 m³ | -11,73% | 0,14 m³ | -23,46% |
| Estaca Escavada | 2,836 m³                        | 2,443 m³ | -13,86% | 2,443 m³ | -13,86% | 2,44 m³ | -13,86% |

Fonte: Autoria própria (2019)

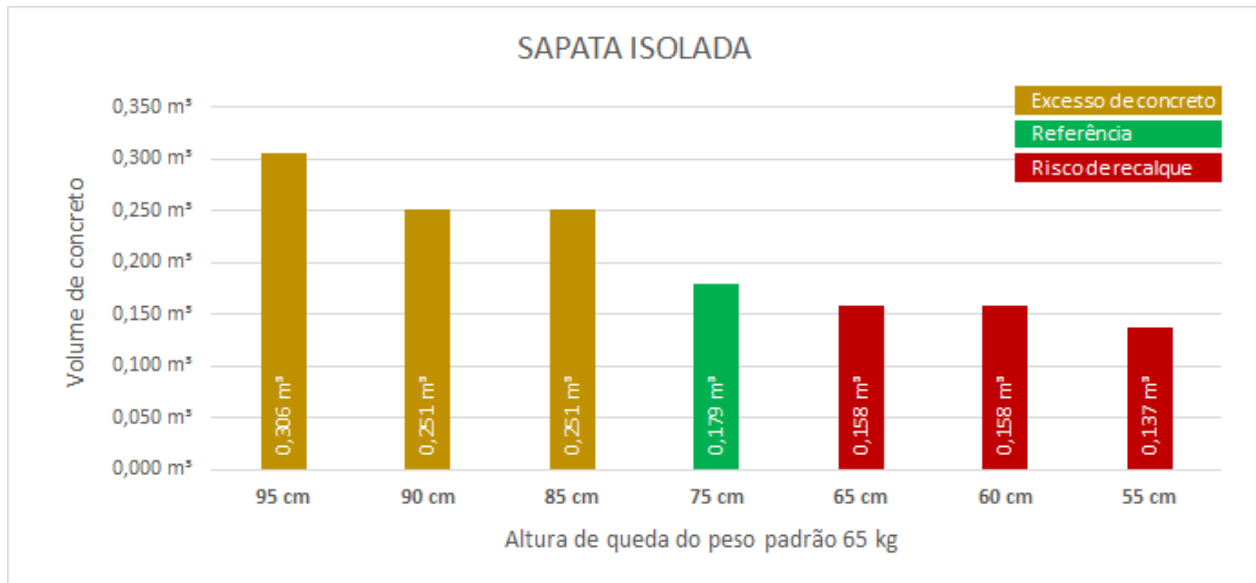
Na concepção do autor, esta última figura pode ser a mais preocupante. Quando o consumo de concreto é menor do que o ideal, ou seja, a fundação é subdimensionada, pode-se correr o risco de ruptura, ou mesmo de colapso no sistema estrutural da edificação. No primeiro caso, a pior hipótese é o proprietário da obra ter que desprender um custo maior do que o necessário, alocando um volume maior de concreto.

O programa que foi desenvolvido para este trabalho procura representar com precisão um projeto de fundações desenvolvido por um engenheiro civil, utilizando inclusive arredondamentos que normalmente são feitos para execução em campo. Por isso, em alguns casos não houve variação do volume de concreto entre diferentes eficiências. Isso acontece por que ambas alturas estavam dentro da mesma faixa de arredondamento (42,0 e 44,5 centímetros, por exemplo, são arredondados para 45 centímetros).

A seguir temos os gráficos finais desta pesquisa. Destacado na cor verde temos o modelo de referência, ou seja, o consumo de concreto padrão. Na cor amarelo temos as alturas onde há excesso de concreto, um custo adicional desnecessário. Por outro lado, temos destacada na cor vermelha os locais onde há risco de recalque. O primeiro está relacionado mais diretamente ao proprietário, o qual terá que arcar com o custo sem mesmo saber. No segundo, temos a ART Engenheiro Civil como responsável técnico.

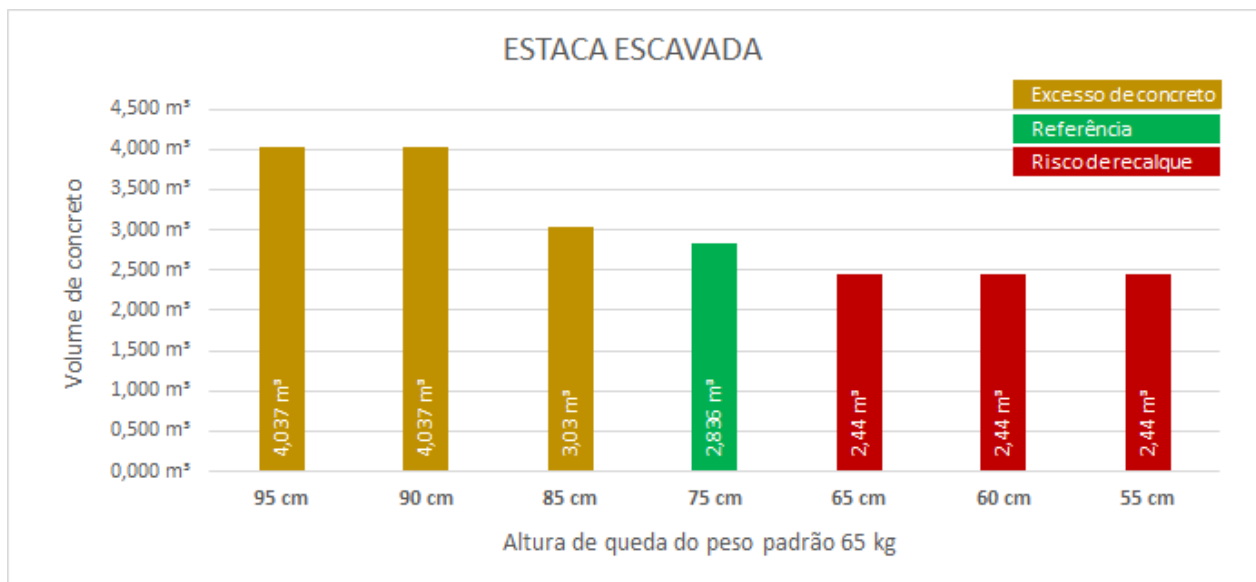
A figura 39 apresenta as variações para uma fundação superficial, neste caso objeto de estudo uma sapata isolada. Conforme foi apresentada nas figuras 37 e 38, este modelo pode resultar em uma variação mais representativa. Após, temos a figura 40 que apresenta a variação para uma fundação profunda, neste caso uma estaca escavada.

Figura 39: Consumo de concreto Sapata Isolada



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 40: Consumo de concreto Estaca Escavada



Fonte: Autoria própria (2019)

## 5. CONCLUSÕES

Neste capítulo, serão abordadas as principais conclusões do autor quando as questões que este trabalho pretende esclarecer. Em nenhum momento o autor pretende criticar qualquer tipo de método, norma, técnica ou profissional envolvido no método, ou no processo desta pesquisa. O principal objetivo foi esclarecer, por meio de dimensionamentos e de números, se as questões abordadas no início deste trabalho são relevantes ou pouco significativas.

Importante também destacar que o autor em nenhum momento foi tendenciado a forçar qualquer resultado para tentar comprovar a sua própria opinião ou a de algum outro autor. Foram desenvolvidos métodos mais transparentes possíveis, utilizando para o dimensionamento as mesmas técnicas e fórmulas utilizadas pela maior parte dos profissionais de engenharia civil, bem como seguindo a recomendação da norma.

O desenvolvimento do programa “FounProject” também foi importante neste processo para evitar qualquer tipo de erro que pudesse ser cometido durante as análises, cálculos e dimensionamentos, se realizado manualmente, e também para agilizar o processo possibilitando assim um número maior de estudos de caso, e de uma maior representatividade de resultados para comprovar com números as tendências de dados de saída.

Sobre a relevância do erro na altura de queda do peso padrão, o autor, após a realização do trabalho, pode concluir o seguinte: Quando o erro é cometido em apenas alguns dos golpes, sua consequência final pode ser pouco impactante. Para que seja significativa, é necessário que a maior parte dos golpes esteja acima ou abaixo do que a norma permite. Se isso acontecer, pode sim haver um erro nas dimensões das fundações. Quanto maior for a diferença da altura média em relação a altura recomendada, maior será o erro.

Porém, conforme foram indicados nas pesquisas bibliográficas deste trabalho, em muitos casos acontece de alguns golpes estarem acima da altura correta, e outros abaixo. Isso acaba equalizando o método, trazendo a média dos golpes muito próximo ao ideal.

Outro fator que pode ser considerado representativo, é de que pequenas variações nos valores do NSPT podem trazer o mesmo a faixas diferentes dos coeficientes apresentados neste trabalho, além de interferir no arredondamento que o profissional de engenharia costuma fazer para facilitar a execução em campo. Por exemplo: Suponhamos que o resultado correto (A) de um dimensionamento de uma sapata isolada fosse 39,5 centímetros em algum dos lados. Neste caso, possivelmente o projeto seria confeccionado para execução de 40 centímetros em campo. Imaginemos agora, que por um pequeno erro na sondagem, o resultado (B) da mesma fundação tenha sido 41,5 centímetros. Neste segundo caso, é também provável que, por questões de segurança, o profissional técnico faça o arredondamento imediatamente acima, no caso para 45 centímetros. Vejamos que entre (A) e (B), originalmente, a diferença é de apenas 2 centímetros, mas que em campo será de 5 centímetros.

Na concepção do autor, este aspecto (2) pode ser mais relevante do que o próprio erro original do NSPT (1). Porém, o primeiro é a causa do segundo.

Concluiu-se, por fim, com base nos resultados finais das dimensões das fundações, que os erros que são normalmente cometidos durante a execução do SPT em campo podem ser sim significativos nas dimensões finais das fundações, e no consumo de concreto.

Avaliou-se, portanto, que é significativamente importante que seja observado com maior atenção este método. O autor espera (e confia) que a próxima revisão da NBR 6484 (2019) seja mais rígida neste aspecto.

Uma opção para resolver este problema seria tornar o processo automático, sem a ação humana. Neste caso, poderiam ser utilizados sensores elétricos para fazer a leitura a cada golpe, respeitando sempre a altura de 75 centímetros. Existem já no mercado americano, principalmente, equipamentos que já funcionam desta forma. Não seria de qualquer forma necessário adquirir um novo equipamento, basta ajustar o modelo existente para um formato automático. Isso poderia ser facilmente executado com auxílio dos conhecimentos de um engenheiro elétrico.

Por fim, concluiu-se de grande valia para o desenvolvimento dos conhecimentos pessoais do autor, bem como para a pesquisa científica a elaboração deste trabalho.

Mais do que apresentar críticas ou elogios ao método, o relatório buscou apresentar em forma de números as consequências que erros humanos (que podem ser considerados naturais) podem causar.

Considerou-se especialmente importante também a elaboração do sistema FounProject, o qual demandou grande parte do tempo da elaboração desta pesquisa. Porém com ele, foi possível o autor compreender com maior exatidão muitos parâmetros do desenvolvimento de um bom projeto de fundações. Além disso, fica como benefício desta pesquisa o programa para utilização de outros acadêmicos que desejam sanar suas dúvidas quanto aos resultados de seus cálculos, ou mesmo analisar o grau de importância de determinadas variáveis dos métodos.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de Fundações Profundas**. São Paulo: Edgar Blücher, 1989. 169 p.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Edgar Blücher, 1991. 142 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6484**: método de ensaio – solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT. 2º ed. Rio de Janeiro, 2001. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6497** Levantamento Geotécnico. Rio de Janeiro, 1993. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 14724**: informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. 3º ed. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6024**: informação e documentação – numeração progressiva das seções de um documento – apresentação. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6027**: informação e documentação – sumário – apresentação. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação – citações em documentos – apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.

BELINCANTA, Antonio; FERRAZ, Roberto Lopes. **CONTRIBUIÇÃO DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ NO ENTENDIMENTO DA SONDADE DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT**. Maringá: UEM, 2000. 10 p

CAPUTO, Homero Pinto. **MECÂNICAS DOS SOLOS E SUAS APLICAÇÕES**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 244 p.

CARVALHO, Izaac Solino de. **PROPOSTA PARA CERTIFICAÇÃO DAS EMPRESAS DE SONDADE À PERCUSSÃO – TIPO SPT**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

CAVALCANTE, Erinaldo Hilário. **INVESTIGAÇÃO TEÓRICO-EXPERIMENTAL SOBRE O SPT**. 2012. 445 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.3

CINTRA, José Carlos A. et al. **Fundações: Ensaios Estáticos e Dinâmicos**. São Paulo - Sp: Oficina de Textos, 2014. 96 p.

CONTEÚDO aberto. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio\\_Martinelli](https://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio_Martinelli)> Acesso em: 09 out 2018.

DALDEGAN, Eduardo. Tubulão a céu aberto: Processo executivo e dicas práticas. **Engenharia Concreta**, 2017. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/tubulao-a-ceu-aberto-processo-executivo/>. Acesso em: 28 de outubro de 2018.

GALVIS, Juliana Zapata. **ESTIMATIVA DAS TENSÕES INTERNAS E EXTERNAS ATUANTES NO AMOSTRADOR SPT DURANTE SUA CRAVAÇÃO**. 2015. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos/sp, 2015.

HACHICH, Waldemar. **FUNDAÇÕES - TEORIA E PRÁTICA**, São Paulo, PINI, 2ed, 2000, 751p.

JARDIM, Humberto Carlos de Oliveira; MACHADO, Romulo Rodrigues; JORGE, Pedro Augusto Machado. **MEDIÇÃO DE ENERGIA NO ENSAIO SPT EM SOLO TROPICAL DO CAMPO EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE G**. 2017. 116 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2017.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 63 p.

PEIXOTO, Anna Silvia Palcheco. **ESTUDO DO ENSAIO SPT-T E SUA APLICAÇÃO NA PRÁTICA DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 2001. 510 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas Unicamp, São Paulo, 2001.

PEREIRA, Caio. **Tipos de fundações**. Escola Engenharia, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-fundacoes/>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

POSSELT, Debora Cristina. **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO PROJETO DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS**. 2016. 130 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Cleber Cristiano Prodanov Ernani Cesar de. **METODOLOGIA DO TRABALHO CIENTÍFICO: MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA E DO TRABALHO ACADÊMICO**. 2. ed. Novo Hamburgo: Ebook, 2013. 277 p.3

REVISTA GALILEU (São Paulo - Sp). Editora Globo. **ENGENHEIROS DESVENDAM MISTÉRIO DE 500 ANOS NA TORRE DE PISA**. 2018. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/ciencia/noticia/2018/05/engenheiros-desvendam-misterio-de-500-anos->>. Acesso em: 21 maio 2019.

RODRIGUES, Paulo Cesar. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO III**. 01 mar. 2018, 01 jul. 2018. 42 p. Notas de Aula. Unidade 3 - Blocos Sobre Estacas.

RUVER, Cesar Alberto. **DETERMINAÇÃO DO COMPORTAMENTO CARGA-RECALQUE DE SAPATAS EM SOLOS RESIDUAIS A PARTIR DE ENSAIOS SPT**. 2005. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RUVER, C. A.; CONSOLI, N. C. **TENSÃO ADMISSÍVEL DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS ASSENTES EM SOLOS RESIDUAIS DETERMINADA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**. In: GEOSUL. 2006, [S.l.]. Anais..., 2006.

SANTANA, Christian Matos de; DANZIGER, Fernando Artur Brasil. **MONITORAMENTO DA ENERGIA EM ENSAIOS SPT REALIZADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**. In: Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia Geotécnica, 18, 2016, Belo Horizonte. Artigo. Belo Horizonte: ABMS, 2016. p. 7 - 7.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **ENSAIOS DE CAMPO E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 180 p.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **ENSAIOS DE CAMPO E SUAS APLICAÇÕES À ENGENHARIA**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012, p. 223.

TEIXEIRA, Cornélio Zampier. **CAPACIDADE DE CARGA DE SAPATAS, ESTACAS DE PEQUENO DIÂMETRO E TUBULÕES CURTOS EM FUNÇÃO DO SPT: UM ESTUDO EM SOLOS RESIDUAIS DE GNAISSES PARA A REGIÃO SUL DE MINAS**. 1997. 302 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1997.

TEIXEIRA, Cornelio Zampier. **CAPACIDADE DE CARGA DE SAPATAS, ESTACAS DE PEQUENO DIÂMETRO E TUBULÕES CURTOS EM FUNÇÃO DO SPT: UM E.** 1997. 302 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1997.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **FUNDAÇÕES:** Critérios de Projeto - Investigação do Subsolo - Fundações Superficiais - Fundações Profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 583 p.

VWF Fundações. **Furos Sondagem.** VWF Fundações, 201?. Disponível em: <https://www.vwffundacoes.com.br/furos-sondagem/feed>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

WAYHS, Carlos Alberto Simões Pires. **DISCIPLINA DE FUNDACOES: FUNDACOES SUPERFICIAIS PARTE 2.** 01 mar. 2018, 01 jul. 2018. 49 p. Notas de Aula. Capacidade de carga.

## ANEXO A - SPT PADRÃO DO ESTUDO

| Revestimento |  | Método cravação |  | Cota relação R.N. |  | Cota do N.A. |  | Relatório de Sondagem             |  |  |  |                                |  |
|--------------|--|-----------------|--|-------------------|--|--------------|--|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------|--|
|              |  | TC              |  | 0                 |  |              |  | Furo SP 4 Cota 100,00             |  |  |  | 30 cm finais<br>30 cm iniciais |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  | SPT - Standart Penetration Test   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  | Camadas - Classificação dos solos |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |
|              |  |                 |  |                   |  |              |  |                                   |  |  |  |                                |  |

## ANEXO B.1 - MANUAL DO FOUNPROJECT

FOUNPROJECT

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

22.02, 17/06/2019

Boa noite  
segunda-feira, 17 de junho de 2019

INSTRUÇÕES DE USO

VOLTAR

**Bem vindo!**

Você está na central de ajuda e instruções de uso do **FOUNPROJECT**.  
Aqui você tem o manual passo a passo de como utilizar da melhor maneira o programa, de suas funcionalidades.

Para uma melhor experiencia, é recomendado que você imprima esta manual (CLTR + P) e realize seus dimensionamentos com este documento em mãos.

Lembramos que este programa está em sua primeira versão, em fase de testes. Não pode ser de maneira alguma utilizado comercialmente. **Os desenvolvedores não se responsabilizam por qualquer uso inadequado da ferramenta, ou por qualquer erro que possa apresentar.**

Caso não tenha sua dúvida esclarecida neste manual, nos envie um email: jair.rodriigo.k@hotmail.com

0 - TELA INICIAL

Boa noite  
segunda-feira, 17 de junho de 2019

BEM VINDO AO FOUNPROJECT!

Programa educacional gratuito para acelerar seu projeto de fundações!

Acesse os campos clicando sobre a opção desejada [...]

1 - INFORME OS VALORES DO SPT

2 - QUAL O TIPO DE FUNDAÇÃO QUE VOCÊ DESEJA DIMENSIONAR?

2.1 - FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

2.2 - FUNDAÇÃO PROFUNDA

SOBRE O PROGRAMA

INSTRUÇÕES DE USO

POLITICA DE PRIVACIDADE

SOBRE O DESENVOLVEDOR

V1.05.19

**TELA INICIAL**

Esta é a tela de boas vindas do programa.

Nela, o usuário tem acesso às diversas opções disponíveis dentro do sistema.

Sendo totalmente intuitivo, basta clicar sobre os botões que você será automaticamente direcionado para a página selecionada.

Em qualquer momento, você pode clicar sobre o botão voltar, que será imediatamente direcionado à página anterior. Clicando sobre a logo localizada no canto superior direito, que acompanha todas as telas do programa, o usuário é direcionado novamente a tela inicial acima.

Inicialmente, deve ser informado ao programa os valores da sondagem SPT. Destacamos aqui que o sistema foi desenvolvido totalmente com base nos dados do NSPT, portanto é o único parâmetro de entrada aceito. Após informado os valores do NSPT, recomendamos salvar como um novo projeto, renomeando-o com a descrição do projeto.

Posteriormente, após informado os valores do NSPT, basta clicar no botão voltar que as informações ficam salvas nos registros, e você será direcionado novamente ao menu inicial.

Agora, basta clicar sobre o tipo de fundação que você pretende dimensionar.

Logo abaixo estão as instruções sobre cada uma destas telas.

**Vamos lá:**

V.01.05.19

1/7

## ANEXO B.2 - MANUAL DO FOUNPROJECT

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
22:02, 17/06/2019

**1 - INFORME OS DADOS DO SPT**

DADOS DA SONDAGEM SPT

| SONDAGEM     | 1    | 2                    | 3 |
|--------------|------|----------------------|---|
| Profundidade | NSPT | Tipo de Solo         |   |
| 0,00 m       | 0    | Areia siltosa        |   |
| 1,00 m       | 7    | Areia silto-argilosa |   |
| 2,00 m       | 15   | Areia argilosa       |   |
| 3,00 m       | 6    | Areia argilo-siltosa |   |
| 4,00 m       | 22   | Silte                |   |
| 5,00 m       | 25   | Silte arenoso        |   |
| 31,00 m      |      |                      |   |
| 32,00 m      |      |                      |   |
| 33,00 m      |      |                      |   |
| 34,00 m      |      |                      |   |
| 35,00 m      |      |                      |   |
| 36,00 m      |      |                      |   |
| 37,00 m      |      |                      |   |
| 38,00 m      |      |                      |   |
| 39,00 m      |      |                      |   |
| 40,00 m      |      |                      |   |

**SOBRE O SPT**  
O primeiro passo para iniciar o dimensionamento é informar os dados da sondagem SPT realizada em campo. Neste momento, o programa permite apenas lançar uma sondagem por vez.

O sistema permite informar valores de NSPT para a profundidade variando de 0 até o limite de 40 metros, podendo ser informado menos do que o limite.

- Informe neste campo o nome, número da sondagem ou mesmo o número do furo, que seja possível identificar.
- Informe neste campo os valores do NSPT. É muito importante conferir após ter lançado os valores, pois essa informação é parâmetro base para o dimensionamento.
- Selecione neste campo o tipo de solo (esta informação está disponível no próprio relatório de SPT, de acordo com as respectivas profundidades). É importante selecionar corretamente, pois o programa analisa esses dados para calcular a resistência.

**2 - QUAL O TIPO DE FUNDAÇÃO QUE VOCÊ DESEJA DIMENSIONAR?**

**SELEÇÃO:**  
Neste momento você precisa escolher o tipo de fundação que pretende dimensionar.

Para selecionar, basta clicar sobre a opção, que será imediatamente direcionado para o próximo item.

2.1 - FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

2.2 - FUNDAÇÃO PROFUNDA

**2.1 - FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

2.1 - QUAL O TIPO DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL QUE VOCÊ DESEJA DIMENSIONAR?

2.1.1 - SAPATA ISOLADA

2.1.2 - SAPATA CORRIDA (EM BREVE)

2.1.3 - RADIER (EM BREVE)

2.1.4 - (EM BREVE)

2.1.5 - (EM BREVE)

**TIPO DE FUNDAÇÃO 1:**  
Após selecionado a opção FUNDAÇÃO SUPERFICIAL você será direcionado para esta tela ao lado esquerdo. Aqui é possível selecionar qual tipo de fundação você pretende dimensionar ou analisar.

Nesta versão do programa, só é possível dimensionar o tipo SAPATA ISOLADA, pois entende-se que é o mais usual. Selecionando uma dessas opções, você será automaticamente direcionado para a tela dos cálculos, demonstradas a seguir.

V.01.05.19
2/7

## ANEXO B.3 - MANUAL DO FOUNPROJECT

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
22:02, 17/06/2019

**2.1.1 - SAPATA ISOLADA**
←

**SAPATA ISOLADA:**  
 Após selecionar o item 2.1.1 na tela anterior, você será direcionado para esta página.  
 Aqui ocorre todo o processo de dimensionamento, embora nem tudo seja visível. Estão visíveis apenas as informações mais relevante neste momento, evitando assim excesso de dados.

FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Complete os campos em vermelho

SAPATA ISOLADA

Coef. Segurança: 2,00

Profundidade (D): 2,00 m

Altura de solo (d): 1,65 m

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: 1.500,00 kN

a: 0,25 m

b: 0,90 m

**O QUE PRECISO PREENCHER?**

Até o momento, a única informação que o programa tem são os valores do SPT que você informou. Agora são necessário mais alguns dados.

Você deve completar todos os campos em vermelho. O programa não calcula enquanto todos os dados não estiverem preenchidos.

**Coefficiente de segurança:** Este valor é definido pela norma, normalmente é fixo (consulte a norma vigente). O programa permite alteração apenas para que seja possível o usuário analisar quanto esse fator é relevante no tamanho da fundação.

**Profundidade (D):** Aqui você deve informar a cota onde a fundação vai ser apoiada. Este valor pode ser alterado mesmo após a fundação já estar dimensionada, tendo em vista que muitas vezes pequenas alterações nas profundidades podem gerar uma grande economia. O programa usa o valor da profundidade para definir qual é o NSPT (que você informou anteriormente) para esta cota. A partir disso, várias outras condições dependem deste valor, então é importante informá-lo corretamente.

**Altura de solo (d):** Este valor não está disponível para alteração, pois o sistema calcula automaticamente, é a resultante de (D-H). Esta altura muda portanto, a partir de várias condicionantes, como profundidade, fck e mesmo o diâmetro da armadura. Se a altura da fundação aumenta, o valor de (d) tende a diminuir.

**Carga do pilar:** Este valor deve ser retirado do projeto estrutural, que é a força normal que o pilar irá transferir à fundação. Este valor deve ser informado em kN, mas apenas números. A denotação é feita automaticamente pelo programa.

**(a) e (b):** Dimensão (a) e (b) do pilar. Deve ser retirado do projeto estrutural, e sua representação está indicada na figura da fundação em planta, conforme acima.

V.01.05.19
3/7

## ANEXO B.4 - MANUAL DO FOUNPROJECT

| FUNDPROJECT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 22:02, 17/06/2019 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <p><b>COEFICIENTES DE CÁLCULO</b></p> <p>NSPT: 15,00<br/>           NSPT, 60: 18,00<br/>           Yn: 19,89 kN/m<sup>3</sup><br/>           c: 100,00 kPa<br/>           c': 100,00 kPa<br/>           q: 32,82 kPa<br/>           φ: 32,32 °<br/>           φ': 32,32 °<br/>           Nc: 35,49<br/>           Nq: 23,18<br/>           Ny: 30,22<br/>           Nq/Nc: 0,65<br/>           tgφ: 0,62<br/>           Sc: 1,29792<br/>           Sq: 1,28417<br/>           Y: 0,81667</p> <p><b>RESISTÊNCIA DO SOLO</b></p> <p>σR: 5.718,14 kPa<br/>           σadm: 2.859,07 kPa</p> | <p><b>COEFICIENTES DE CÁLCULO:</b></p> <p>Os valores destes campos não são possível de ser alterados manualmente. Estão bloqueados pois são preenchidos manualmente pelo programa.</p> <p><b>NSPT:</b> Este valor é atribuído com base na profundidade (D) informada. O sistema verifica este valor, e procura a resistência respectiva nesta camada do solo, informada no campo do SPT anterior. Para variar o valor do NSPT, basta variar o valor de (D).</p> <p><b>NSPT,60:</b> Aqui o sistema faz o ajuste da energia, com base na fórmula de Ruver e Consoli (2006)<br/> <math>N_{SPT,60} = 1,20 * N_{SPT}</math></p> <p><b>Yn:</b> Aqui o programa calcula o peso específico proposto por Godoy (1972).</p> <p><b>c:</b> Nesta etapa o programa calcula a coesão por Alonso (1943).</p> <p><b>c':</b> Caso o valor do NSPT seja inferior a 9, o sistema minora a coesão em 2/3, conforme indica Terzaghi.</p> <p><b>q:</b> Sobre carga (equação de Terzaghi)= <math>\gamma n * d</math></p> <p><b>Nc, Nq, Ny, Nq/Nc, tgφ:</b> Fatores de capacidade de carga que serão usados na equação de Terzaghi, retirado da tabela de Prahtl- Reinsner e Caquot-Kérisel.</p> <p><b>Sc, Sq, Y:</b> Fatores de forma que serão usados na equação de Terzaghi, retiradas após cálculo das fórmulas De Beer.</p> <p><b>RESISTÊNCIA DO SOLO:</b></p> <p><b>pr:</b> Tensão máxima do solo, calculada pela equação de Terzaghi.<br/> <math>\sigma_r = c * Nc * Sc + q * Nq * Sq + 1/2 * \gamma * B * Ny * Sy</math></p> <p><b>padm:</b> Tensão máxima admissível do solo para aquela determinada profundidade, com base no fator de segurança definido.</p> |                   |
| <p><b>DIMENSÕES DA BASE</b></p> <p>A: 0,55 m<br/>           B: 1,20 m</p> <p>Sugestão de A: 0,50 m<br/>           Sugestão de B: 1,15 m</p> <p><b>CÁLCULO ABAS IGUAIS</b></p> <p>X: 0,30 m<br/>           Y: 0,30 m</p> <p><b>APROVADO</b></p> <p><b>VERIFICAÇÃO</b></p> <p>Área mínima: 0,577 m<sup>2</sup><br/>           Área fundação: 0,660 m<sup>2</sup></p> <p><b>APROVADO</b></p>                                                                                                                                                                                                | <p><b>DIMENSÕES DA BASE</b></p> <p><b>A e B:</b> Valor das dimensões da base da fundação. Inicialmente, pode ser lançado qualquer valor, preferencialmente múltiplo de 5. Após, este valor deve ser ajustado.</p> <p><b>Sugestão de A e de B:</b> Após ser lançado os valores de A e B, o programa apresentará sugestões possíveis melhores para A e B. Com essas sugestões, deve-se refinar os lançamentos iniciais de A e B, até que os campos Abas Iguais e Verificação sejam destacados em verde com a mensagem "APROVADO".</p> <p><b>ABAS IGUAIS:</b> O programa verifica se as abas em X e Y são iguais. Esta é uma recomendação da norma, e deve ser satisfeita. Enquanto não forem iguais, o programa vai exibir a mensagem "REPROVADO" em vermelho. Para melhorar, basta alterar os valores de A ou de B.</p> <p><b>VERIFICAÇÃO:</b> Esta é uma das etapas mais importantes do cálculo. Aqui, o programa analisa se a área da fundação (A*B) está acima da área mínima (calculada com base na tensão admissível do solo e a carga aplicada). O ideal é que a área da fundação esteja apenas minimamente superior. Se a área for muito maior, o programa vai aprovar, mas haverá desperdício de concreto.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                   |
| <p><b>DIMENSÕES DA ALTURA</b></p> <p>Concreto</p> <p>Fck 30</p> <p>Diâmetro da Armadura</p> <p>φ 8,0</p> <p>Acoragem da Armadura</p> <p>Sem Gancho</p> <p>Cobrimento (c): 5,00 cm</p> <p>H: 0,35 m<br/>           h: 0,20 m</p> <p><b>APROVADO</b></p> <p>Volume de concreto</p> <p>0,196 m<sup>3</sup></p>                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p><b>DIMENSÕES DA ALTURA:</b></p> <p><b>Concreto:</b> Deve ser selecionada a resistência do concreto que será utilizado. Este é um parâmetro que o programa usa para calcular a altura da fundação.</p> <p><b>Diâmetro da Armadura:</b> Deve ser informado o diâmetro da armadura que será utilizada. Este é um parâmetro que o programa também usa para calcular a altura da fundação.</p> <p><b>Acoragem da Armadura:</b> É necessário selecionar se a fundação vai ser armada com ou sem gancho. Aqui é interessante testar as opções para verificar a mudança dos resultados.</p> <p><b>Cobrimento:</b> É necessário informar o cobrimento em centímetros das armaduras.</p> <p><b>H:</b> Altura da sapata, calculada automaticamente pelo programa, arredondando sempre de 5 em 5 cm para maior.</p> <p><b>h:</b> Altura da base da sapata, também calculada automaticamente.</p> <p><b>Volume de concreto:</b> Ao final de todos os cálculos, o programa apresentará ainda o consumo exato de concreto para execução desta fundação.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                   |

## ANEXO B.5 - MANUAL DO FOUNPROJECT

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
22.02, 17/06/2019

**2.2 - FUNDAÇÃO PROFUNDA**

**2.2 - QUAL O TIPO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA QUE VOCÊ DESEJA DIMENSIONAR?**

**TIPO DE FUNDAÇÃO 2:**  
Após selecionado a opção FUNDAÇÃO PROFUNDA você será direcionado para esta tela ao lado esquerdo. Aqui é possível selecionar qual tipo de fundação você pretende dimensionar ou analisar.  
Nesta versão do programa, só é possível dimensionar o tipo ESTACA ESCAVADA, pois entende-se que é o mais usual.  
Selecionando uma dessas opções, você será automaticamente direcionado para a tela dos cálculos, demonstradas a seguir.

**2.2.1 - ESTACA ESCAVADA**

**2.2.1 - ESTACA ESCAVADA**

2.2.1 - ESTACA ESCAVADA (EM BREVE)

2.2.2 - TUBULÃO (EM BREVE)

2.2.3 - ESTACA CRAVADA (EM BREVE)

2.1.3 - HÉLICE CONTÍNUA (EM BREVE)

2.1.3 - (EM BREVE)

**2.2.1 - ESTACA ESCAVADA**

**ESTACA ESCAVADA:**  
Após selecionar o item 2.2.1 na tela anterior, você será direcionado para esta página.  
Aqui ocorre todo o processo de dimensionamento, embora nem tudo seja visível. Estão visíveis apenas as informações mais relevante neste momento, evitando assim excesso de dados.

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em **vermelho**

**ESTACA ESCAVADA**

Coef. Segurança: 2,00

Diâmetro estaca (d): 40,00 cm

Fck concreto estaca: 20 MPa

**INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: 600,00 kN

a: 45,00 cm

b: 20,00 cm

Armaduras: 4  $\phi$

Diâmetro armaduras: 10,00 mm

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: 1

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

Núm. de Blocos: 1

**O QUE PRECISO PREENCHER?**

Até o momento, a única informação que o programa tem são os valores do SPT que você informou. Agora são necessário mais alguns dados.

Você deve completar todos os campos em vermelho. O programa não calcula enquanto todos os dados não estiverem preenchidos. Todos os dados devem ser informados com formato apenas numérico. O programa faz automaticamente a atribuição da sua unidade de medida.

**Coefficiente de segurança:** Este valor é definido pela norma, normalmente é fixo (consulte a norma vigente). O programa permite alteração apenas para que seja possível o usuário analisar quanto esse fator é relevante no tamanho da fundação.

**Diâmetro da Estaca (d):** Como o programa está calculando uma (ou mais) estaca escavada, deve ser informada neste campo o diâmetro da estaca. Inicialmente, pode ser atribuído qualquer valor, e posteriormente é possível voltar neste campo a variar este parâmetro, para observar sua influência no dimensionamento.

**Fck concreto estaca:** A resistência do concreto que será utilizado na estaca também deve ser informado neste campo. Sem esta informação o programa não segue o cálculo. Aqui também pode ser alterado posteriormente caso entenda-se necessário.

**Carga do pilar:** Este valor deve ser retirado do projeto estrutural, que é a força normal que o pilar irá transferir à fundação. Este valor deve ser informado em kN, mas apenas números. A denotação é feita automaticamente pelo programa.

**(a) e (b):** Dimensão (a) e (b) do pilar. Deve ser retirado do projeto estrutural, e sua representação está indicada na figura da fundação em

V.01.05.19
5/7

## ANEXO B.6 - MANUAL DO FOUNPROJECT

FUNDPROJECT

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

22/02, 17/06/2019

**Armaduras:** Também do projeto estrutural deve ser retirada a quantidade de armaduras do pilar. Esta informação é importante no dimensionamento da fundação pois é necessária para o cálculo do pilar de arranque, bem como do bloco de coroamento das estacas.

**Diâmetro das armaduras:** Assim como quantidade de armaduras, também deve ser informada neste campo o diâmetro (em mm) das mesmas.

### COEFICIENTES DE CÁLCULO

Resistência estaca(s): 3.590,39 kN  
 K: 200,00 kN/m<sup>2</sup>  
 qp: 5.200,00 kN/m<sup>2</sup>  
 Qp: 653,45 kN  
 qs: 96,67 kN/m<sup>2</sup>  
 Qs: 498,47 kN  
 Qtotal: 1.151,92 kN  
 Q/CS: 575,96 kN  
 dmin: 48,75 cm  
 dmax: 69,23 cm  
 lb: 44,00 cm  
 estacas: 2 unid.

### COEFICIENTES DE CÁLCULO:

Os valores destes campos não são possível de ser alterados manualmente. Estão bloqueados pois são preenchidos manualmente pelo programa.

**Resistência estaca(s):** Aqui o programa calcula a resistência das estacas. Mesmo que o solo seja resistente o bastante, se a resistência da estaca não for maior do que a carga do pilar, o programa informa erro, tendo em vista que a mesma não irá resistir. O ideal neste caso é aumentar o diâmetro da estaca, ou a resistência do concreto.

**k:** Este valor é informado pelo programa de acordo com a camada de solo da profundidade (H) informada, segundo as especificações na norma.

**qp, Qp, Qs, Qtotal, Q/CS:** Estes valores são calculados automaticamente com base nas fórmulas de Décourt e Quaresma, e estão na base de dados do programa. Ele utiliza os valores do SPT, bem como das camadas de solo que foram informadas no campo do SPT.

**dmin:** Altura mínima calculada para o bloco.

**dmax:** Altura máxima calculada para o bloco.

**lb:** Altura de ancoragem das armaduras (deve estar entre dmin e dmax)

**estacas:** Este valor é apenas informativo, e parte da seleção que pode ser feita entre 1 ou 2 estacas.

### DIMENSIONAMENTO ESTACA

Núm. de Estacas: ☐ 1 ☒ 2  
 Profundidade (H): 6,0 m  
 Resistência: 1.151,92 kN  
**APROVADO**

### Volume de concreto

Estaca(s): 7,540 m<sup>3</sup>  
 Bloco: 0,798 m<sup>3</sup>  
**Total: 8,338 m<sup>3</sup>**

### DIMENSIONAMENTO ESTACA:

**Número de estacas:** Este valor deve ser selecionado, clicando sobre a opção desejada.

**Profundidade (H):** Este valor tem grande influência no cálculo, pois define todos os parâmetros de resistência das fórmulas de Décourt e Quaresma. Significa a profundidade máxima na qual a estaca irá ser apoiada. Não pode ser maior do que o NSPT máximo.

**Resistência:** Após o preenchimento de todas as informações anteriores, o programa apresenta a resistência da estaca no solo, com base no fator de segurança. Caso esta resistência esteja acima da carga do pilar, o programa apresenta a informação "APROVADO" em verde. Do contrário, "REPROVADO" em vermelho. Para uma maior economia de concreto, o ideal é que a resistência seja a menor possível acima da carga do pilar.

**Volume de concreto:** O programa calcula o volume de concreto da estaca, de acordo com seu diâmetro e profundidade, e o volume do bloco. Abaixo temos o somatório de ambos. Estes valores podem ser comparados alterando alguns parâmetros do programa, para que seja possível compreender qual deles tem maior peso no resultado final, e na economia de concreto.

### DIMENSIONAMENTO BLOCO

e: 80,00 cm  
 A: 190,00 cm  
 B: 70,00 cm  
 h: 60,00 cm  
**APROVADO**

### DIMENSIONAMENTO DO BLOCO

Estes valores não estão disponíveis para alteração, pois são calculados automaticamente pelo sistema, com base nas informações anteriormente definidas pelo usuário.

O valor da distância entre as estacas (e) somente é calculado quando há duas estacas ou mais. Os valores da largura (A), do comprimento (B), e da altura (h) são arredondadas pelo programa de 5 em 5 cm, sempre pra maior. O objetivo disso é facilitar a execução em campo.

## ANEXO B.7 - MANUAL DO FOUNPROJECT

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| FUNDPROJECT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES | 22.02, 17/06/2019 |
| <b>FAÇA BOM PROVEITO DO PROGRAMA!</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                   |
| <p>Este programa é mais do que uma simples parte de um trabalho de conclusão de curso.</p> <p>É o conjunto de muito conhecimento de diversos autores, tabelas, fórmulas e recomendações. Tudo isso, seguindo as recomendações da norma vigente.</p> <p>O objetivo principal do programa é otimizar tempo. Usar a ferramenta para calcular em 30 segundos o que seria calculado em 30 minutos, se feito manualmente.</p> <p>Desejo que você que esteja o usando, faça um bom proveito.</p> <p>Se você pensa que pode ou se pensa que não pode, de qualquer forma você está certo - Henry Ford.<br/>Você pode muito mais, só precisa saber.</p> <p>Abraços cordiais,<br/>Jair.</p> |                              |                   |
| V.01.05.19                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                              | 7/7               |

## ANEXO C.1 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 95CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:51, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Complete os campos em **vermelho**

---

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): **2,60 m**

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

NSPT: 10,00

NSPT, 60: 12,00

Yn: 18,60 kN/m<sup>2</sup>

c: 64,28 kPa

c': 64,28 kPa

q: 48,36 kPa

φ: 29,14 °

φ': 29,14 °

Nc: 27,86

Nq: 16,44

Ny: 19,34

Nq/Nc: 0,59

tgφ: 0,55

Sc: 1,37760

Sq: 1,35200

Sy: 0,74400

**RESISTÊNCIA DO SOLO**

σR: 3.649,01 kPa

σadm: **1.216,34 kPa**

**DIMENSÕES DA BASE**

A: **0,80 m**

B: **1,25 m**

Sugestão de A: **0,75 m**

Sugestão de B: **1,20 m**

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**

X: **0,55 m**

Y: **0,55 m**

**APROVADO**

**VERIFICAÇÃO**

Área mínima: **0,904 m<sup>2</sup>**

Área fundação: **1,000 m<sup>2</sup>**

**APROVADO**

**DIMENSÕES DA ALTURA**

**Concreto**

Fck 20

**Diâmetro da Amadura**

φ 10,0

**Acoragem da Armadura**

Com Gruncho

**Cobrimento (c): 5,00 cm**

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

**APROVADO**

Volume de concreto

**0,306 m<sup>3</sup>**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 95,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 126,67%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 6    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 10   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 12   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 12   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 16   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 21   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 21   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 16   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 22   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 21   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 22   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 23   | 32              | Argila siltosa |                           |

## ANEXO C.2 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 90CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:52, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Complete os campos em **vermelho**

---

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): 2,60 m

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

NSPT: 11,00

NSPT, 60: 13,20

Yn: 19,00 kN/m³

c: 71,42 kPa

c': 71,42 kPa

q: 49,40 kPa

φ: 29,83 °

φ': 29,83 °

Nc: 30,14

Nq: 18,40

Ny: 22,40

Nq/Nc: 0,61

tgφ: 0,58

Sc: 1,37130

Sq: 1,35304

Sy: 0,75652

**RESISTÊNCIA DO SOLO**

σR: 4.294,42 kPa

oadm: **1.431,47 kPa**

**DIMENSÕES DA BASE**

A: **0,70 m**

B: **1,15 m**

Sugestão de A: **0,68 m**

Sugestão de B: **1,13 m**

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**

X: **0,45 m**

Y: **0,45 m**

**APROVADO**

**VERIFICAÇÃO**

Área mínima: **0,768 m²**

Área fundação: **0,805 m²**

**APROVADO**

**DIMENSÕES DA ALTURA**

Concreto

Fck 20

**Diâmetro da Amadura**

φ 10,0

**Acoragem da Armadura**

Com Granco

**Cobrimento (c): 5,00 cm**

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

**APROVADO**

Volume de concreto

**0,251 m³**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 90,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 120,00%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 6    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 11   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 13   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 14   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 18   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 23   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 22   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 18   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 24   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 22   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 24   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 26   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.3 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 85CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:53, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Complete os campos em **vermelho**

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): 2,60 m

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

NSPT: 12,00

NSPT, 60: 14,40

Yn: 19,22 kN/m³

c: 78,56 kPa

c': 78,56 kPa

q: 49,98 kPa

φ: 30,49 °

φ': 30,49 °

Nc: 30,14

Nq: 18,40

Ny: 22,40

Nq/Nc: 0,61

tgφ: 0,58

Sc: 1,37130

Sq: 1,35304

Sy: 0,75652

**DIMENSÕES DA BASE**

A: **0,70 m**

B: **1,15 m**

Sugestão de A: **0,65 m**

Sugestão de B: **1,10 m**

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**

X: **0,45 m**

Y: **0,45 m**

**APROVADO**

**VERIFICAÇÃO**

Área mínima: **0,717 m²**

Área fundação: **0,805 m²**

**APROVADO**

**DIMENSÕES DA ALTURA**

**Concreto**

Fck 20

**Diâmetro da Amadura**

φ 10,0

**Acoragem da Armadura**

Com Gruncho

**Cobrimento (c): 5,00 cm**

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

**APROVADO**

Volume de concreto

**0,251 m³**

**RESISTÊNCIA DO SOLO**

σR: 4.605,23 kPa

σadm: **1.535,08 kPa**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 85,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 113,33%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 7    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 12   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 14   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 15   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 19   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 25   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 24   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 19   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 26   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 24   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 26   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 28   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.4 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 75CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:55, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Complete os campos em **vermelho**

---

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): **2,60 m**

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

NSPT: 14,00

NSPT, 60: 16,80

Yn: 19,67 kN/m³

c: 92,84 kPa

c': 92,84 kPa

q: 51,13 kPa

φ: 31,73 °

φ': 31,73 °

Nc: 35,49

Nq: 23,18

Ny: 30,22

Nq/Nc: 0,65

tgφ: 0,62

Sc: 1,35750

Sq: 1,34100

Sy: 0,78000

**RESISTÊNCIA DO SOLO**

σR: 6.189,75 kPa

σadm: **2.063,25 kPa**

**DIMENSÕES DA BASE**

A: **0,55 m**

B: **1,00 m**

Sugestão de A: **0,54 m**

Sugestão de B: **0,99 m**

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**

X: **0,30 m**

Y: **0,30 m**

**APROVADO**

**VERIFICAÇÃO**

Área mínima: **0,533 m²**

Área fundação: **0,550 m²**

**APROVADO**

**DIMENSÕES DA ALTURA**

Concreto

Fck 20

Diâmetro da Amadura

φ 10,0

Acoragem da Armadura

Com Gruncho

Cobrimento (c): **5,00 cm**

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

**APROVADO**

Volume de concreto

**0,179 m³**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 75,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 100,00%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 8    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 14   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 16   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 17   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 22   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 29   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 28   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 22   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 30   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 28   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 30   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 32   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.5 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 65CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:56, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**

Complete os campos em **vermelho**

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): 2,60 m

**DIMENSÕES DO PILAR**

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

NSPT: 16,00

NSPT, 60: 19,20

Yn: 20,11 kN/m³

c: 106,67 kPa

c': 106,67 kPa

q: 52,29 kPa

φ: 32,89 °

φ': 32,89 °

Nc: 38,64

Nq: 26,09

Ny: 35,19

Nq/Nc: 0,68

tgφ: 0,65

Sc: 1,35789

Sq: 1,34211

Sy: 0,78947

**RESISTÊNCIA DO SOLO**

σR: 7.567,48 kPa

σadm: **2.522,49 kPa**

**DIMENSÕES DA BASE**

A: **0,50 m**

B: **0,95 m**

Sugestão de A: **0,47 m**

Sugestão de B: **0,92 m**

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**

X: **0,25 m**

Y: **0,25 m**

**APROVADO**

**VERIFICAÇÃO**

Área mínima: **0,436 m²**

Área fundação: **0,475 m²**

**APROVADO**

**DIMENSÕES DA ALTURA**

Concreto

Fck 20

Diâmetro da Amadura

φ 10,0

Acoragem da Armadura

Com Granchos

Cobrimento (c): 5,00 cm

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

**APROVADO**

Volume de concreto

**0,158 m³**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 65,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 86,67%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 9    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 16   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 18   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 19   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 25   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 33   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 32   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 25   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 34   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 32   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 34   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 36   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.6 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 60CM)

FUNDPROJECT

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES

15:57, 22/06/2019

FOUN PROJECT

Boa tarde!  
sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

FUNDAÇÃO SUPERFICIAL

Complete os campos em **vermelho**

Coef. Segurança: **3,00**

Profundidade (D): **3,00 m**

Altura de solo (d): **2,60 m**

?

DIMENSÕES DO PILAR

Carga do pilar: **1.000,00 kN**

a: **0,25 m**

b: **0,70 m**

?

COEFICIENTES DE CÁLCULO

NSPT: 17,00

NSPT, 60: 20,40

Yn: 20,33 kN/m³

c: 113,34 kPa

c': 113,34 kPa

q: 52,87 kPa

φ: 33,44 °

φ': 33,44 °

Nc: 38,64

Nq: 26,09

Ny: 35,19

Nq/Nc: 0,68

tgφ: 0,65

Sc: 1,35789

Sq: 1,34211

Sy: 0,78947

RESISTÊNCIA DO SOLO

σR: 7.939,22 kPa

oadm: **2.646,41 kPa**

A

B

pilar

a

b

superfície

solo

pilar

d

D

A

H

h

?

DIMENSÕES DA BASE

A: **0,50 m**

B: **0,95 m**

Sugestão de A: **0,46 m**

Sugestão de B: **0,91 m**

CÁLCULO ABAS IGUAIS

X: **0,25 m**

Y: **0,25 m**

APROVADO

VERIFICAÇÃO

Área mínima: **0,416 m²**

Área fundação: **0,475 m²**

APROVADO

?

DIMENSÕES DA ALTURA

Concreto

Fck 20

Diâmetro da Amadura

φ 10,0

Acoragem da Armadura

Com Gruncho

Cobrimento (c): **5,00 cm**

H: **0,40 m**

h: **0,20 m**

APROVADO

Volume de concreto

**0,158 m³**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 60,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 80,00%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 10   | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 17   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 19   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 20   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 26   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 35   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 34   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 26   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 36   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 34   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 36   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 38   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19

1/1

## ANEXO C.7 – DIMENSIONAMENTO F. SUP. (H 55CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:58, 22/06/2019

Boa tarde!

sábado, 22 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO SUPERFICIAL**  
 Complete os campos em vermelho

Coef. Segurança: 3,00  
 Profundidade (D): 3,00 m  
 Altura de solo (d): 2,60 m

? **DIMENSÕES DO PILAR**  
 Carga do pilar: 1.000,00 kN  
 a: 0,25 m  
 b: 0,70 m

? **COEFICIENTES DE CÁLCULO**  
 NSPT: 18,00  
 NSPT, 60: 21,60  
 Yn: 20,56 kN/m³  
 c: 120,00 kPa  
 c': 120,00 kPa  
 q: 53,44 kPa  
 φ: 33,97 °  
 φ': 33,97 °  
 Nc: 42,16  
 Nq: 29,44  
 Ny: 41,06  
 Nq/Nc: 0,70  
 tgφ: 0,67  
 Sc: 1,35000  
 Sq: 1,33500  
 Sy: 0,80000

RESISTÊNCIA DO SOLO  
 σR: 9.082,34 kPa  
 σadm: 3.027,45 kPa

? **DIMENSÕES DA BASE**  
 A: 0,45 m  
 B: 0,90 m  
 Sugestão de A: 0,42 m  
 Sugestão de B: 0,87 m

**CÁLCULO ABAS IGUAIS**  
 X: 0,20 m  
 Y: 0,20 m  

APROVADO

**VERIFICAÇÃO**  
 Área mínima: 0,363 m²  
 Área fundação: 0,405 m²  

APROVADO

? **DIMENSÕES DA ALTURA**  

Concreto

Fck 20

Diâmetro da Amadura

φ 10,0

Acoragem da Armadura

Com Granchos

Cobrimento (c): 5,00 cm

H: 0,40 m  
 h: 0,20 m  

APROVADO

Volume de concreto  

0,137 m³

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 55,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 73,33%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 10   | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 18   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 20   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 22   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 28   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 37   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 35   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 28   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 38   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 35   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 38   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 41   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.8 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 95CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:53, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em vermelho

---

Coef. Segurança: 2,00

Diâmetro estaca (d): 50,00 cm

Fck concreto estaca: 20 MPa

? **INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: 1.000,00 kN

a: 70,00 cm

b: 25,00 cm

Armaduras: 6 ϕ

Diâmetro armaduras: 10,00 mm

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 5.609,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 2.520,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 494,80 kN

qs: 80,00 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 513,13 kN

Qtotat: 1.007,93 kN

Q/CS: 503,96 kN

dmin: 57,50 cm

dmax: 81,65 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 2 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: 1 2

Profundidade (H): 7,0 m

Resistência: 1.007,93 kN

APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 2,749 m<sup>3</sup>

Bloco: 1,288 m<sup>3</sup>

Total: 4,037 m<sup>3</sup> ?

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: 100,00 cm

A: 230,00 cm

B: 80,00 cm

h: 70,00 cm

APROVADO ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 95,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 126,67%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 6    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 10   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 12   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 12   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 16   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 21   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 21   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 16   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 22   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 21   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 22   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 23   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.9 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 90CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:54, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em vermelho

---

Coef. Segurança: 2,00

Diâmetro estaca (d): 50,00 cm

Fck concreto estaca: 20 MPa

? **INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: 1.000,00 kN

a: 70,00 cm

b: 25,00 cm

Armaduras: 6  $\phi$

Diâmetro armaduras: 10,00 mm

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 5.609,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 2.760,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 541,92 kN

qs: 86,67 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 555,01 kN

Qtotat: 1.096,94 kN

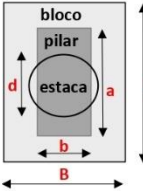
Q/CS: 548,47 kN

dmin: 57,50 cm

dmax: 81,65 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 2 unid.



**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: 1 2

Profundidade (H): 7,0 m

Resistência: 1.096,94 kN

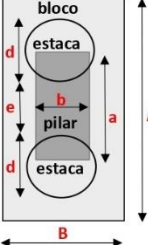
APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 2,749 m<sup>3</sup>

Bloco: 1,288 m<sup>3</sup>

Total: 4,037 m<sup>3</sup> ?



**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: 100,00 cm

A: 230,00 cm

B: 80,00 cm

h: 70,00 cm

APROVADO ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 90,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 120,00%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 6    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 11   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 13   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 14   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 18   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 23   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 22   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 18   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 24   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 22   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 24   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 26   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.10 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 85CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
15:56, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em **vermelho**

Coef. Segurança: **2,00**

Diâmetro estaca (d): **50,00 cm**

Fck concreto estaca: **20 MPa**

**INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: **1.000,00 kN**

a: **70,00 cm**

b: **25,00 cm**

Armaduras: **6 ϕ**

Diâmetro armaduras: **10,00 mm**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 2.804,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 3.360,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 659,73 kN

qs: 103,33 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.455,60 kN

Qtotat: 2.115,34 kN

Q/CS: 1.057,67 kN

dmin: 50,00 cm

dmax: 60,00 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 1 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: **1**

Profundidade (H): **13,0 m**

Resistência: 1.057,67 kN

**APROVADO**

**Volume de concreto**

Estaca(s): 2,553 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,480 m<sup>3</sup>

**Total: 3,033 m<sup>3</sup>**

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: Não se aplica

A: 100,00 cm

B: 80,00 cm

h: 60,00 cm

**APROVADO**

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 85,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 113,33%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 7    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 12   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 14   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 15   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 19   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 25   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 24   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 19   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 26   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 24   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 26   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 28   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.11 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 75CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
16:00, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em **vermelho**

Coef. Segurança: **2,00**

Diâmetro estaca (d): **50,00 cm**

Fck concreto estaca: **20 MPa**

**INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: **1.000,00 kN**

a: **70,00 cm**

b: **25,00 cm**

Armaduras: **6  $\phi$**

Diâmetro armaduras: **10,00 mm**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 2.804,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 3.600,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 706,86 kN

qs: 110,00 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.466,08 kN

Qtotat: 2.172,93 kN

Q/CS: 1.086,47 kN

dmin: 50,00 cm

dmax: 60,00 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 1 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: ☒ 1 ☐ 2

Profundidade (H): **12,0 m**

Resistência: 1.086,47 kN

APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 2,356 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,480 m<sup>3</sup>

Total: 2,836 m<sup>3</sup> ?

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: Não se aplica

A: 100,00 cm

B: 80,00 cm

h: 60,00 cm

APROVADO ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 75,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 100,00%       |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 8    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 14   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 16   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 17   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 22   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 29   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 28   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 22   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 30   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 28   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 30   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 32   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.12 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 65CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
16:03, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em vermelho

---

Coef. Segurança: 2,00

Diâmetro estaca (d): 50,00 cm

Fck concreto estaca: 20 MPa

---

? **INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: 1.000,00 kN

a: 70,00 cm

b: 25,00 cm

Armaduras: 6 ϕ

Diâmetro armaduras: 10,00 mm

---

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 2.804,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 4.080,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 801,11 kN

qs: 123,33 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.261,87 kN

Qtotat: 2.062,98 kN

Q/CS: 1.031,49 kN

dmin: 50,00 cm

dmax: 60,00 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 1 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: 1 2

Profundidade (H): 10,0 m

Resistência: 1.031,49 kN

**APROVADO**

**Volume de concreto**

Estaca(s): 1,963 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,480 m<sup>3</sup>

**Total: 2,443 m<sup>3</sup>** ?

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: Não se aplica

A: 100,00 cm

B: 80,00 cm

h: 60,00 cm

**APROVADO** ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 65,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 86,67%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 9    | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 16   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 18   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 19   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 25   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 33   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 32   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 25   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 34   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 32   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 34   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 36   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.13 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 60CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
16:04, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em vermelho

---

Coef. Segurança: 2,00

Diâmetro estaca (d): 50,00 cm

Fck concreto estaca: 20 MPa

? **INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: 1.000,00 kN

a: 70,00 cm

b: 25,00 cm

Armaduras: 6 ϕ

Diâmetro armaduras: 10,00 mm

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 2.804,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 4.320,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 848,23 kN

qs: 130,00 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.324,70 kN

Qtotat: 2.172,93 kN

Q/CS: 1.086,47 kN

dmin: 50,00 cm

dmax: 60,00 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 1 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: 1 2

Profundidade (H): 10,0 m

Resistência: 1.086,47 kN

APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 1,963 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,480 m<sup>3</sup>

Total: 2,443 m<sup>3</sup> ?

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: Não se aplica

A: 100,00 cm

B: 80,00 cm

h: 60,00 cm

APROVADO ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 60,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 80,00%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 10   | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 17   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 19   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 20   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 26   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 35   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 34   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 26   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 36   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 34   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 36   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 38   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1

## ANEXO C.14 – DIMENSIONAMENTO F. PROF. (H 55CM)

FUNDPROJECT
DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES
16:07, 20/06/2019

Boa tarde!

quinta-feira, 20 de junho de 2019

VOLTAR

**FUNDAÇÃO PROFUNDA**

Complete os campos em **vermelho**

---

Coef. Segurança: **2,00**

Diâmetro estaca (d): **50,00 cm**

Fck concreto estaca: **20 MPa**

**INFORMAÇÕES DO PILAR**

Carga: **1.000,00 kN**

a: **70,00 cm**

b: **25,00 cm**

Armaduras: **6 ϕ**

Diâmetro armaduras: **10,00 mm**

**COEFICIENTES DE CÁLCULO**

Resistência estaca(s): 2.804,99 kN

K: 120,00 kN/m<sup>2</sup>

qp: 4.560,00 kN/m<sup>2</sup>

Qp: 895,35 kN

qs: 136,67 kN/m<sup>2</sup>

Qs: 1.392,77 kN

Qtotat: 2.288,13 kN

Q/CS: 1.144,06 kN

dmin: 50,00 cm

dmax: 60,00 cm

lb: 44,00 cm

estacas: 1 unid.

**DIMENSIONAMENTO ESTACA**

Núm. de Estacas: ☒ 1 ☐ 2

Profundidade (H): **10,0 m**

Resistência: 1.144,06 kN

APROVADO

**Volume de concreto**

Estaca(s): 1,963 m<sup>3</sup>

Bloco: 0,480 m<sup>3</sup>

Total: 2,443 m<sup>3</sup> ?

**DIMENSIONAMENTO BLOCO**

e: Não se aplica

A: 100,00 cm

B: 80,00 cm

h: 60,00 cm

APROVADO ?

| Dados do SPT |      |                 |                | Altura de queda: 55,00 cm |
|--------------|------|-----------------|----------------|---------------------------|
| Profundidade | NSPT | NSPT referência | Tipo de Solo   | Eficiência: 73,33%        |
| 0,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 1,00 m       | 0    | 0               | Argila siltosa |                           |
| 2,00 m       | 10   | 8               | Argila siltosa |                           |
| 3,00 m       | 18   | 14              | Argila siltosa |                           |
| 4,00 m       | 20   | 16              | Argila siltosa |                           |
| 5,00 m       | 22   | 17              | Argila siltosa |                           |
| 6,00 m       | 28   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 7,00 m       | 37   | 29              | Argila siltosa |                           |
| 8,00 m       | 35   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 9,00 m       | 28   | 22              | Argila siltosa |                           |
| 10,00 m      | 38   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 11,00 m      | 35   | 28              | Argila siltosa |                           |
| 12,00 m      | 38   | 30              | Argila siltosa |                           |
| 13,00 m      | 41   | 32              | Argila siltosa |                           |

V.01.05.19
1/1