

LIGA SE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÁLISSON JOAB PINHEIRO ARRAES

**ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADE
DE CARGA E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES – USO DA
PROGRAMAÇÃO C++ E VBA**

NATAL/RN

2019

ÁLISSON JOAB PINHEIRO ARRAES

**ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADE
DE CARGA E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES – USO DA
PROGRAMAÇÃO C++ E VBA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção de título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Arraes, Álisson Joab Pinheiro.

Elaboração de uma ferramenta para o cálculo de capacidade de carga e pré-dimensionamento de fundações – uso da programação C++ e VBA.
/ Álisson Joab Pinheiro Arraes. – Natal, 2019.
88f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Fundações profundas – Monografia. 3. Fundações superficiais – Monografia. 4. Capacidade de carga – Monografia. 5. Métodos semi-empíricos e teóricos – Monografia. 6. Planilhas eletrônicas – Monografia. 7. Programação VBA e MACRO – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

ÁLISSON JOAB PINHEIRO ARRAES

**ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADE
DE CARGA E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES – USO DA
PROGRAMAÇÃO C++ E VBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira
Orientador – UNI-RN

Profa. Msc. Mariana Silva Freitas
Avaliador Interno – UNI-RN

Prof. Esp. Tarcísio José de Medeiros Lima
Avaliador Externo – UFRN

Dedico este estudo a Deus primeiramente, por me proporcionar fé e força nos momentos de angústia. Em segundo, dedico a minha família, que tanto me apoiou. Em especial dedico aos meus “pais” que sempre estiveram comigo, e minhas “tias” que tanto contribuíram, concedendo-me uma base completa. Dedico também aos meus grandes amigos, que sempre estiveram presente nessa jornada. Dedico a cada um que se fez presente de alguma forma, me levando a crescer exponencialmente.

AGRADECIMENTO

Ser engenheiro era um sonho distante que se deu início na “minha cidade” (Jucás – CE). Hoje, sou grato pela conquista, por superar todos os obstáculos surgidos e por ter tantas pessoas importantes presentes nessa jornada. Por isso, aqui venho agradecer à todos aqueles que foram essenciais neste trajeto.

Primeiramente agradeço a Deus por sua essência e poder, por me guiar e escolher sabiamente todas as pessoas presentes em minha vida.

Agradeço a toda a minha família, por estarem comigo nesta jornada, pelo apoio indispensável e pela dedicação mais pura que existe. Tenho orgulho em não citar nomes, são tantos, e eu poderia esquecer alguém. Saibam, agradeço minuciosamente a cada um, por cada conselho, por cada estímulo e cada gota de suor derramada por nós. Aos meus “pais”, agradeço o grandioso apoio, os sacrifícios e tamanha compreensão, alimentando meus sonhos e me fazendo honra-los com esplendor. Agradeço a ELE em especial, meu avô, por tantos ensinamentos e se fazer presente eternamente em minha vida.

Aos meus amigos, antigos e novos, sou grato por todos os momentos compartilhados, momentos ricos de conquistas e lições, onde dividimos angústias e alegrias durante todo o percurso. Agradeço em especial a aqueles que sempre estiveram presentes, me apoiando e se esforçaram junto a mim, me concedendo o ganho de força e oportunidades para chegar aos objetivos.

Sou grato aos educadores e funcionários do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) que se fizeram presente nesta importante trajetória.

Agradeço ao professor PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira, pela oportunidade e por tamanha dedicação em suas orientações para a construção deste trabalho.

Por fim, agradeço à todos, por me permitirem esse momento, esta conquista e me concederem realizar este sonho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

As fundações têm a responsabilidade de transmitir os esforços gerados por uma estrutura para o solo em forma de tensões, para isso, o dimensionamento destas deve ser realizado de maneira que as cargas solicitantes não ultrapassem as tensões que o solo é capaz de resistir. Além dos desafios aparentes, os solos também podem se mostrar heterogêneos e apresentar comportamentos diferentes dentro de uma mesma área à ser edificada. Para melhor compreensão e definição é feito o estudo do solo através de ensaios geotécnicos, sendo no Brasil a sondagem de percussão simples (SPT) a mais usada. Os principais métodos de cálculo de capacidade de carga para fundações profundas aplicados no Brasil são métodos semi-empíricos, e podem ser ajustados por fatores de correção de acordo com o solo e tipo de estaca, destacando Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Velloso (1975). Para fundações superficiais destaca-se o método Teórico de Terzaghi e Peck (1967) e as proposições de Vesic (1975). Deste modo, este trabalho usufrui destas metodologias de cálculo e ensaios geotécnicos (SPT) para desenvolver uma ferramenta de cálculo capaz de resultar na capacidade de carga e valores aplicáveis para o pré-dimensionamento de fundações profundas e superficiais, designando obter resultados seguros e válidos. Usou-se o *Software Excel* para elaborar a ferramenta, por sua capacidade de aplicar funções e programações, e por possuir uma extensa gama de ferramentas. Ainda, a fim de assegurar os resultados obtidos e validá-los, comparou-se os demais resultados com valores obtidos por outras pesquisas e aplicações já consolidadas.

Palavras-chave: Fundações profundas. Fundações Superficiais. Capacidade de carga. Métodos semi-empíricos e teóricos. Planilhas eletrônicas. Programação VBA e MACRO.

ABSTRACT

The foundations have the responsibility of transmitting the stresses generated by a structure to the soil in the form of tensions. To do this, the scaffolds must be designed in such a way that the requester loads do not exceed the tensions that the soil is capable of withstanding. In addition to the apparent challenges, soils may also be heterogeneous and present different behaviors within the same area to be built. For better understanding and definition, the study of the soil through geotechnical tests is done, in Brazil the simple percussion drilling (SPT) is the most used. The main methods of calculating load capacity for deep foundations applied in Brazil are semi-empirical methods, and can be adjusted by correction factors according to soil and type of stake, highlighting Décourt-Quaresma (1978) and Aoki-Velloso (1975). For superficial foundations the theoretical method of Terzaghi and Peck (1967) and the propositions of Vesic (1975) stand out. In this way, this work uses these computational and geotechnical tests (SPT) methodologies to develop a calculation tool able to result in at load capacity and values applicable to the pre-dimensioning of deep and superficial foundations, aiming to obtain safe and valid results. *Excel software* was used to elaborate the tool, for its ability to apply functions and schedules, and to possess an extensive range of tools. Still, in order to ensure the results obtained and to validate them, the other results were compared with values obtained by other researches and already consolidated applications.

Keywords: Deep foundations. Surface Foundations. Load capacity. Semi-empirical and theoretical methods. Spreadsheets. VBA and MACRO programming.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C++	Compilador mais mais (plus plus)
CPT	Teste de Penetração de Cone
CPT-U	Teste de Penetração de Piezocone
NBR	Norma Brasileira
SPT	Teste de Penetração Padrão
VBA	Visual Básico para Aplicações

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação [01] Resistência não drenada da argila (S_u).....	48
Equação [02] Carga de ruptura (σ_r)	49
Equação [03] Carga admissível por ruptura geral (σ_r) – Terzaghi e Peck (1967).....	51
Equação [04] Coesão não drenada (C).....	52
Equação [05] Ângulo de atrito (Φ).....	52
Equação [06] Fator de capacidade de carga (N_γ)	52
Equação [07] Coesão não drenada reduzida (C^*).....	54
Equação [08] Tangente do ângulo de atrito reduzida ($tg.\Phi^*$)	54
Equação [09] Carga admissível por punção (puncionamento) (σ_r) – Terzaghi e Peck (1967) .	54
Equação [10] Resistência total (R) pelo método de Aoki-Velloso (1975)	56
Equação [11] Resistência lateral (R_L) pelo método de Aoki-Velloso (1975).....	56
Equação [12] Resistência de ponta (R_P) pelo método de Aoki-Velloso (1975)	56
Equação [13] Resistência pontual (r_P).....	56
Equação [14] Resistência pontual (r_L)	56
Equação [15] Resistência de ponta do cone (q_c)	56
Equação [16] Resistência lateral da luva (f_s).....	56
Equação [17] Resistência pontual (r_P).....	57
Equação [18] Resistência pontual (r_L)	57
Equação [19] Expressão final (R) pelo método de Aoki-Velloso (1975).....	57
Equação [20] Resistência total (R) pelo método de Décourt-Quaresma (1978).....	58
Equação [21] Resistência de ponta (R_P) - método de Décourt-Quaresma (1978) ...	59
Equação [22] Resistência lateral (R_L) - método de Décourt-Quaresma (1978).....	59
Equação [23] Resistência pontual (r_P).....	59
Equação [24] Resistência pontual (r_L)	59
Equação [25] Expressão final (R) pelo método de Décourt-Quaresma (1978)	61
Equação [26] Resistência total (R) – Teixeira (1996)	61
Equação [27] Resistência total unificada (R) – Teixeira (1996).....	61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Planilhar	18
Figura 2 – Exemplo de Diferentes Fundações dos Dois Grupos	23
Figura 3 - Sapatas Isoladas.....	24
Figura 4 - Sapata Associada	25
Figura 5 - Sapata Corrida	25
Figura 6 - Radier.....	26
Figura 7 – Bloco	26
Figura 8 - Grelha	27
Figura 9 – Perfis típicos de estacas pré-moldadas.....	29
Figura 10 - Perfis típicos metálicos.....	31
Figura 11 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 01	32
Figura 12 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 02	33
Figura 13 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 03	34
Figura 14 - Perfuração com trado e moldagem	37
Figura 15 - Execução de estacas hélice contínua	37
Figura 16 - Escavada mecanicamente - 01	40
Figura 17 - Escavada Mecanicamente - 02	40
Figura 18 - Execução de estacas franki	42
Figura 19 – Esquema da execução do ensaio SPT.....	44
Figura 20 - Execução do ensaio SPT	44
Figura 21 - Relatório geotécnico final	45
Figura 22 - Ensaio CPT	46
Figura 23 - Características dos Cones	47
Figura 24 - Resultados de um Ensaio com Piezocone	47
Figura 25 - Palheta.....	48
Figura 26 - Modos de ruptura em areia	50
Figura 27 - Superfície potencial de ruptura	51
Figura 28 – Coeficientes Usados na Expressão – Resistência total.....	55
Figura 29 – Interface de trabalho do Excel 2013	63
Figura 30 – Funções do Excel 2013	65
Figura 31 - Processo para acrescentar novas funções Excel 2013.....	66
Figura 32 - Fluxograma do Programa.....	69

Figura 33 - Tela Inicial da ferramenta.....	72
Figura 34 – Escolha do tipo de fundação a ser calculado	73
Figura 35 - Dados geotécnicos e de projeto – estacas.....	74
Figura 36 – Dados e ajustes da fundação de acordo com a estaca e o solo	75
Figura 37 - Dados geotécnicos e de projeto - sapatas	76
Figura 38 - Dados complementares e saída de resultados da aplicação	76
Figura 39 – Relatório final de fundações profundas	77
Figura 40 - Relatório final de fundações superficiais	77
Figura 41 - Modelo de folha de impressão do relatório final	78
Figura 42 - Adaptação dos resultados obtidos na ferramenta para Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978)	82
Figura 43 - Resultados de Aoki-Velloso (1975) para comparação	83
Figura 44 - Resultados de Décourt-Quaresma (1978) para comparação	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados para aplicação	81
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fundações Profundas.....	28
Tabela 2 - Resistência Máxima para Estacas Quadradas	29
Tabela 3 – Espessura de compensação de corrosão	31
Tabela 4 - Perfis de trilhos disponíveis para uso em fundação.....	35
Tabela 5 - Parâmetros de dimensionamento	36
Tabela 6 - Cargas máximas admissíveis e armaduras para hélice-contínua.....	38
Tabela 7 - Características da mesa rotativa e do guincho	38
Tabela 8 - Cargas e características para estaca strauss	39
Tabela 9 - Diâmetros nominais e diâmetros dos revestimentos.....	41
Tabela 10 - Cargas admissíveis para estacas raiz	41
Tabela 11 - Peso do pilão conforme o diâmetro da estaca.....	42
Tabela 12 - Fatores de forma de Terzaghi e Peck.....	51
Tabela 13 - Fatores de capacidade de carga de Vesic (1975).....	52
Tabela 14 - Fatores de forma de De Beer (1953)	54
Tabela 15 - Fatores de Correção F1 e F2 _ Aoki-Velloso (1975).....	57
Tabela 16 - Coeficiente K e razão de atrito α _ Aoki-Velloso (1975).....	58
Tabela 17 - Coeficiente carcterístico do solo - C	59
Tabela 18 - Valores do fator α	60
Tabela 19 - Valores do fator β	60
Tabela 20 - Parâmetros α	62
Tabela 21 - Parâmetro β	62
Tabela 22 - Dados aplicados no cálculo de sapata.....	80
Tabela 23 - Resultados para sapata	80
Tabela 24 - Resultado para o método de Aoki-Velloso (1975).....	82
Tabela 25 – Resultado para o método de Décourt-Quaresma (1978)	82

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 GERAL	20
2.2 ESPECÍFICOS	20
3 JUSTIFICATIVA	21
4 METODOLOGIA	22
5 FUNDAÇÕES	23
5.1.FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS	23
5.1.1 Sapatas	24
5.1.1.1 Sapatas Isoladas	24
5.1.1.2 Sapatas Associadas	25
5.1.1.3 Sapatas Corridas	25
5.1.2 Radier	26
5.1.3 Bloco	26
5.1.4 Grelha	27
5.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS	27
5.2.1 Pré-Moldadas	28
5.2.1.1 Concreto Armado e/ou Protendido	28
5.2.1.2 Madeira	30
5.2.1.3 Metálicas	30
5.2.2 Estacas Moldadas In-Loco	35
5.2.2.1 Hélice Contínua	37
5.2.2.2 Strauss	39
5.2.2.3 Escavada Mecanicamente	39
5.2.2.4 Raiz	41
5.2.2.5 Franki	42
6 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	43
6.1 ENSAIO STANDARD PENETRATION TEST – SPT	43
6.2 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE CONE E PIEZOCONE (CPT E CPT-U)	46
6.3 ENSAIO DE PALHETA (VANE TEST)	48
7 CAPACIDADE DE CARGA	49
7.1 CAPACIDADE DE CARGA EM SAPATAS – FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS	49

7.1.1 Método de Terzaghi e Peck (1967) e as proposições de Vesic (1975)	50
7.1.1.1 Ruptura Geral e por Puncionamento	51
7.2 CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS – FUNDAÇÕES PROFUNDAS	54
7.2.1 Métodos Semi-empíricos	55
7.2.1.1 Método de Aoki-Velloso	55
7.2.1.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)	58
7.2.1.3 Método de Teixeira (1996)	61
8 SOFTWARE EXCEL - PROGRAMAÇÃO	63
8.1 HISTÓRICO	63
8.2 FUNCIONALIDADE	64
8.3 IMPLEMENTO DA PROGRAMAÇÃO	67
8.3.1 Liguagem C++	68
8.3.2 Liguagem VBA - MACRO	68
9 ESTUDO DE CASO – PROGRAMA DESENVOLVIDO	69
9.1 CONTEÚDO APLICADO	70
9.1.1 Revisão da Literatura Técnica	70
9.1.2 Métodos de Cálculo Aplicados	70
9.1.2.1 Ajustes - Parâmetros do Solo	71
9.1.3 Relatórios Geotécnicos - N_{SPT}	71
9.1.4 Software Excel	71
9.2 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA	71
9.2.1 Tela Inicial	72
9.2.2 Escolha da Fundação	73
9.2.3 Dados Geotécnicos e Complementares	73
9.2.3.1 Dados Geotécnicos e Complementares para Fundações Profundas	74
9.2.3.1.1 Ajustes de Décourt (1996) para Fundações Profundas	74
9.2.3.2 Dados Geotécnicos e Complementares para Fundações Superficiais	75
9.2.4 Relatório Final	76
9.3 OBSERVAÇÕES PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA	79
10 RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
10.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ELABORADA	80
10.1.1 Fundações Superficiais	80
10.1.2 Fundações Profundas	81

10.2 VALIDAÇÃO DE DADOS DA FERRAMENTA.....	82
11 CONCLUSÕES	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil é a ciência que abrange todo o campo da infraestrutura, incluindo barragens, estradas, pontes, aeroportos, portos, heliportos e edificações em geral, se fazendo presente em toda a sociedade. Estas estruturas são apoiadas em fundações e/ou solos tratados, que se encarregam de mantê-las em equilíbrio e seguras, possibilitando sua estabilidade.

As fundações são estruturas destinadas a suportar esforços de carregamentos e distribuí-los em forma de tensões no solo. A escolha do tipo de fundação provém das propriedades do solo a ser trabalhado e do carregamento solicitado, pois além dos desafios aparentes, os solos também podem se mostrar heterogêneos e apresentar comportamentos diferentes dentro de uma mesma área a ser edificada. Ciente da complexidade dos diversos tipos de solo, pesquisadores desenvolveram muitos tipos de fundações, ensaios geotécnicos e métodos de cálculos, onde muitos são criados para casos específicos, o que viabilizam construir com maior segurança.

Os solos apresentam muitas variáveis, o que levou muitos pesquisadores a desenvolverem vários métodos habilitados a lidarem com as incógnitas surgidas, onde muitos métodos são parecidos e outros mais divergentes nas expressões e resultados. Através desses estudos, é que atualmente se pode realizar simulações importantes, onde analisa-se o processo de execução e tipo de fundação mais adequada, apoiando-se no uso de ferramentas eletrônicas.

Assim como em outras áreas, a Engenharia Civil necessita de programas capazes de lhe proporcionar benefícios na realização de atividades e no processamento de cálculo, visto a limitação do homem perante a complexidade e responsabilidade que abrangem. Sobretudo, ainda nota-se a falta de domínio sobre às ferramentas usadas, culminando em interpretações erradas e imprecisão na saída de dados.

O âmbito de construir envolve muita complexidade, e exige pessoas capacitadas e dispostas a dominarem suas ferramentas de trabalho. É importante salientar que muitas ferramentas surgiram há anos e que, mesmo assim, ainda são pouco aproveitadas diante de tudo que podem oferecer. O avanço tecnológico tem assegurado o surgimento de ferramentas eficientes, capacitadas em facilitar o desenvolvimento de trabalhos, apresentando recursos configurados como desejado

para cada área, porém ainda pouco exploradas como devido. Junto a amplitude tecnológica vem o custo, um fator que gera uma barreira para pequenas empresas, principalmente na inovação e acompanhamento do mercado, no entanto, existem muitos recursos gratuitos e/ou de baixo custo que somados e/ou ampliados suprem as necessidades com eficiência, quando trabalhados e aprimorados com qualidade.

Atualmente é comum a imensa quantidade de estudantes e profissionais de diversas áreas usufruindo de sistemas e aplicativos para concluir atividades, e um fato perceptível é a facilidade de manipulação e organização de dados nestas ferramentas. Na engenharia civil, é comum que estes dados sejam organizados em formas de planilhas, como as de custos, orçamentos, cálculos e várias outras possíveis. Diversas empresas do ramo tecnológico apresentam pacotes de programas para escritórios, desenvolvidos para uso profissional, voltados ao desenvolvimento de planilhas, apresentações, gerenciamento, etc. Como principais pacotes tem-se o *BROffice*, encontrado em <http://www.broffice.org>, o *OpenOffice*, encontrado em <http://www.openoffice.org> e o *Office*, encontrado em <http://office.microsoft.com>, sendo este, o mais utilizado e tendo o *Excel* como a ferramenta em forma de planilha, capaz de se integrar a linguagem C++ e VBA (Visual Basic for Applications) para a ampliação e elaboração de novas ferramentas (Figura 1).

Figura 1 – Planilhar



Fonte: Engenheiro de custos (2019).

Em reflexo da construção deste trabalho, destaca-se a utilização do *Software Excel* com a linguagem C++ e VBA no dimensionamento de fundações, a fim de

desenvolver um programa habilitado a realizar cálculos assertivos na área. O dimensionamento é construído com base no tipo de fundação, solo e método de cálculo, tendo seus principais dados gerados no ensaio geotécnico e fornecidos ao programa. O manuseio acessível do *Excel* o torna prático e, aliado a programação, habilitam o engenheiro a modelar e criar planilhas eletrônicas que manipulem saída de dados com qualidade comparada a programas de custo elevado.

O presente trabalho enfatiza a elaboração do programa e apresenta os resultados gerados, de modo equivalente a outros programas na área, fundamentando a implementação de dados para facilitar o manuseio. O programa é fundado com base nos métodos mais utilizados e assertivos da área, como: Décourt-Quaresma (1978) e Aoki-Velloso (1975). Além disso, necessita principalmente do resultado de ensaio de sondagem a percussão simples (SPT) e de alguns dados pessoais para formular o relatório. Vale destacar, que o programa continuará sendo aprimorado, com o propósito de evoluir e satisfazer o cálculo de capacidade de carga e pré-dimensionamento de fundações detalhadamente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho tem como escopo, enfatizar o uso do *Software Excel* para o pré-dimensionamento de fundações profundas e superficiais, objetivando fornecer resultados válidos para aplicação, sendo esses, através da construção de uma ferramenta com programações C++ e VBA apta ao cálculo, desenvolvido através de pesquisas na Internet, tutoriais, livros, artigos e periódicos, ricos em conteúdo no âmbito em estudo.

2.2 ESPECÍFICOS

Como propósito específico, destinou-se estudar o uso do *Excel*, destacando seu emprego na computação de dados no campo de fundações. Este estudo objetiva averiguar a eficiência da ferramenta junto à programação através da validação dos dados obtidos, averiguando a segurança do seu uso.

Procurou-se progredir no desenvolvimento deste estudo com a elaboração de planilhas, atribuindo o conteúdo lançado e aprofundando-se as principais variáveis e métodos destacados, esclarecendo o comportamento das variáveis e atentando-se as principais influências.

Além disso, a pesquisa salienta a elaboração de uma ferramenta de fácil manuseio, baseada na necessidade de um uso rápido e sem erros, provida da utilização dos mais eficientes métodos e a interação entre eles. Contudo, busca-se consumir resultados capazes de justificar as significativas vantagens deste para com a construção civil.

3 JUSTIFICATIVA

Na engenharia civil, sabe-se que os *softwares* são indispensáveis perante suas significativas contribuições ao pré-dimensionamento de elementos estruturais. Nas últimas décadas, o desempenho nos métodos construtivos e criativos cresceu exponencialmente graças ao avanço tecnológico, surgindo também, mais opções de escolha no âmbito de programas possibilitando maior quantidade de alternativas. O *Excel*, mostra-se uma ferramenta capaz de satisfazer diversas áreas com infinitas adequações, diante de sua matriz “completa” sendo instruído a desempenhar melhores atividades quando somado a outros métodos. Esta ferramenta é de fácil manuseio e ajuste, faz-se simples a manipulação e aprimoramento quando preciso, permitindo que muitos profissionais tenham facilidade de trabalhar com ela.

As fundações de uma edificação, senão a mais importante, é uma das mais importantes etapas a serem executadas para proporcionar segurança e conforto. Analisando o processo de cálculo de fundações, a simplicidade e eficiência da ferramenta, percebe-se a possibilidade de construir um programa de cálculo capaz de suprir as necessidades de acordo com a locação da edificação. Isso, devido a opção de implementar vários métodos desenvolvidos por diferentes autores, onde cada método tem um melhor desempenho em regiões distintas, ou até desempenhos parecidos.

Diante das qualidades e benefícios destacadas, ter o domínio sobre ferramentas que desenvolvem planilhas e que podem ser aprimoradas para novas ferramentas torna-se indispensável perante suas significativas aplicações no âmbito da engenharia, mostrando-se importantes a serem analisadas e compreendidas. Portanto, escolheu-se este tema, por apresentar vantagens capazes de enfatizar e esclarecer a indagação confrontada neste estudo.

4 METODOLOGIA

O estudo desenvolvido é fundamentado diante de pesquisas bibliográficas e práticas capazes de desenvolver a ferramenta com clareza e eficiência. Além disso, o principal avanço é possível através de tutoriais disponíveis na internet e do que a ferramenta eletrônica é capaz de fornecer. Os parâmetros dos solos e as variáveis são atribuídas aos valores que acompanham cada modelo de fundação escolhido e método de cálculo.

Foram atribuídos os métodos para cálculos na ferramenta com base no desempenho de suas aplicações. As variáveis dos métodos são geridas com os tipos de fundações e ensaios geotécnicos, onde usou-se os tipos de fundações mais usadas atualmente e ensaios SPT. A modelagem do programa foi desenvolvida com o intuito de facilitar na implementação dos dados pedidos, buscando esclarecer as variáveis utilizadas para melhor entendimento do operador da ferramenta. Por fim, buscou-se que o programa realizasse interações entre várias planilhas, usufruindo da programação e dos benefícios da ferramenta, tornando o programa mais moderno e prático.

Todo o progresso foi apresentado de forma teórica, ilustrando os principais fluxogramas, assegurando entendimento do seu funcionamento com clareza. Posteriormente, após a elaboração da ferramenta, mostrou-se a prática dos comandos de modo ilustrativo, que permanece em aprimoramento até que se atinja o máximo desejado. Os resultados alcançados são organizados e impressos ou transformados em arquivos para leitura e/ou armazenamento. Os resultados obtidos foram submetidos a comparações por suporte de materiais ricos em conteúdo para que seus valores fundados fossem válidos, tornando-se crucial para concretização deste estudo. Após a validação de dados, os valores encontrados conforme as informações fornecidas ao programa, são lançados em forma de relatório, cabendo ao usuário finalizar ou realizar novos testes.

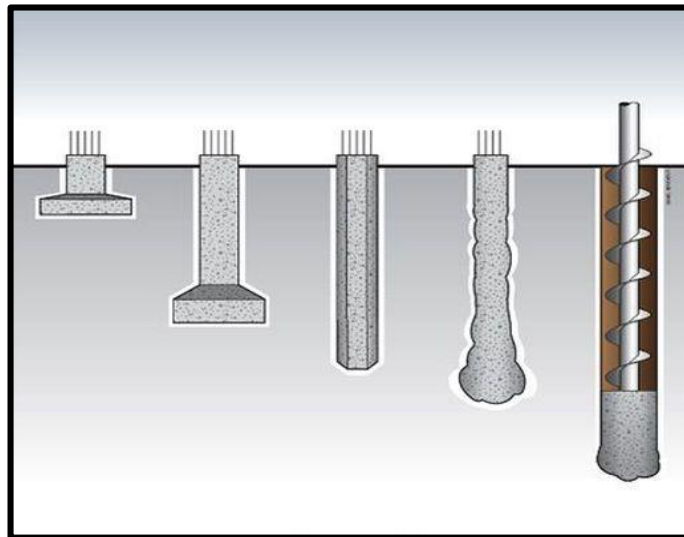
5 FUNDAÇÕES

De acordo com Velloso e Lopes (1998), as fundações são classificadas em dois grandes grupos:

- Fundações Superficiais (Rasas ou Diretas);
- Fundações Profundas.

Abaixo, ilustra-se a representação de algumas fundações pertencentes aos grupos para melhor esclarecimento (Figura 2).

Figura 2 – Exemplo de Diferentes Fundações dos Dois Grupos



Fonte: Reform (2019).

Como distinção entre os dois tipos, a NBR 6122 (ABNT, 2010) estabeleceu que fundações profundas são aquelas onde sua base é assentada a mais de duas vezes sua menor dimensão, e a pelo menos 3 metros de profundidade (VELLOSO; LOPES, 1998, p. 212).

5.1.FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

São elementos que transmitem a carga ao terreno pela distribuição de tensões na sua base.

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2010), a profundidade de assentamento da fundação superficial é inferior a duas vezes sua menor dimensão.

As principais fundações superficiais são: Sapatas, Blocos, Radiers e Grelhas. Vale lembrar, que pode haver a execução de fundações superficiais mistas, isso de acordo com as variáveis surgidas e a critério do projetista.

Os tubulões podem ser considerados como fundações superficiais quando suas características são de acordo, no entanto, também pode ser avaliado como fundação profunda, visto que obtêm resistência lateral.

5.1.1 Sapatas

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), sapata é um elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente dispostas para este fim.

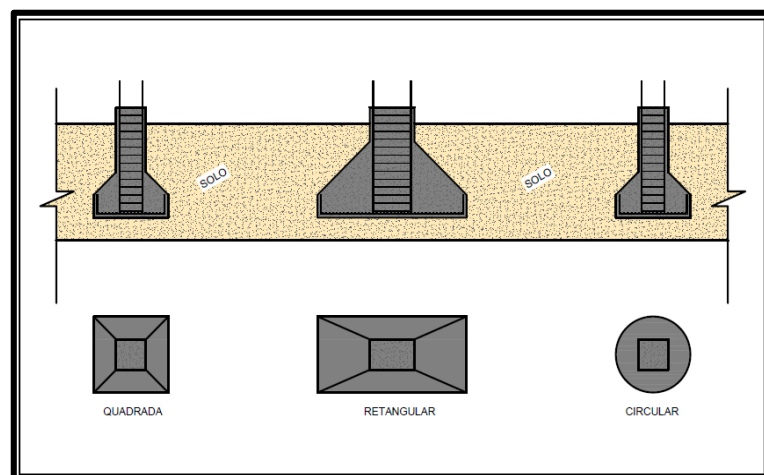
Já a NBR 6118 (ABNT, 2014), diz que sapatas são “estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação, no caso de fundação direta.”

Os principais tipos de sapatas são, isoladas, associadas e corridas.

5.1.1.1 Sapatas Isoladas

De acordo com Berberian (2017), “sapatas são isoladas quando recebem a carga de um único pilar” (Figura 3).

Figura 3 - Sapatas Isoladas

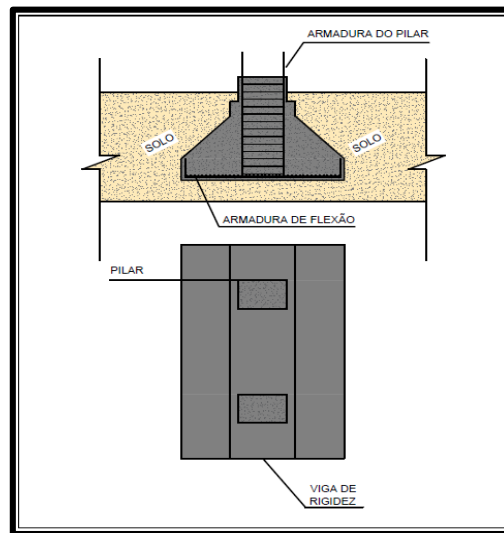


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.1.2 Sapatas Associadas

Segundo Velloso e Lopes (1998), “sapata associada é um elemento de fundação que recebe parte dos pilares da obra, o que a difere do radier, sendo que estes pilares não são alinhados, o que a difere da viga de fundação” (Figura 4).

Figura 4 - Sapata Associada

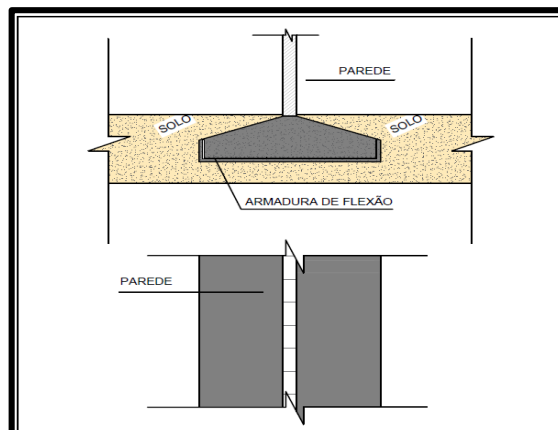


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.1.3 Sapatas Corridas

São sujeitas à ação de cargas distribuídas linearmente (paredes) ou a carga de pilares ao longo de um mesmo alinhamento (NBR 6122, ABNT, 2010, p. 3) (Figura 5).

Figura 5 - Sapata Corrida

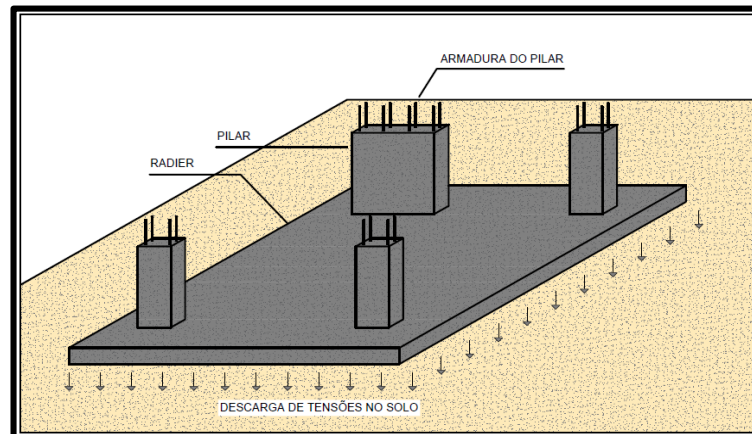


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.2 Radier

A NBR 6122 (ABNT, 2010), diz que, “radier é um elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos” (Figura 6).

Figura 6 - Radier

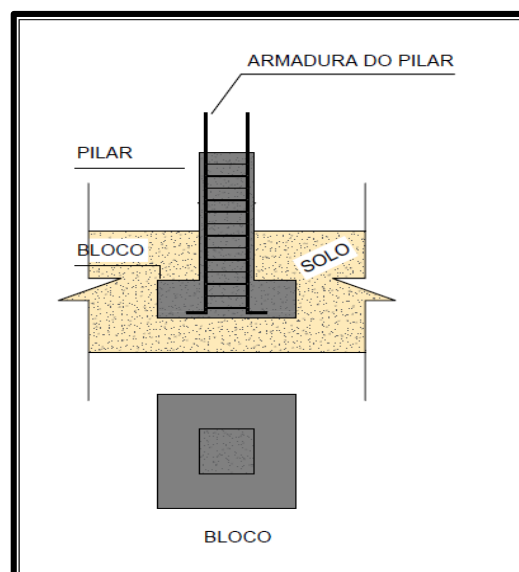


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.3 Bloco

“É uma fundação superficial construída com concreto simples (ausente de armadura de aço), visto que os esforços de tração são baixos e podem ser resistidos pelo concreto” (COSTA, 2015, p. 20) (Figura 7).

Figura 7 – Bloco

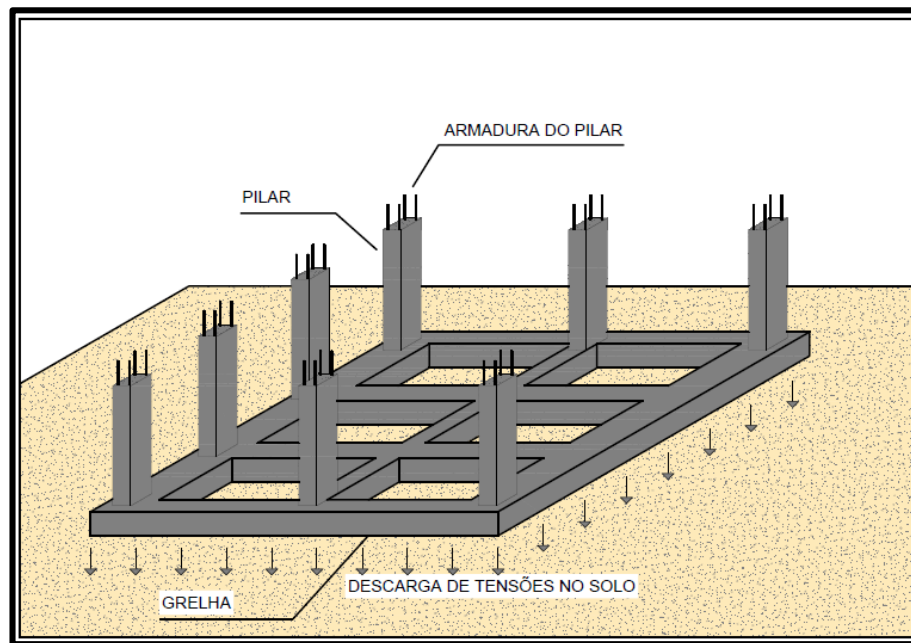


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.4 Grelha

“Fundação superficial onde várias vigas se cruzam alinhadas aos pilares, muito utilizadas quando os esforços solicitante são baixos”, o que afirma Costa (2015, p. 21) (Figura 8).

Figura 8 - Grelha



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

São elementos capazes de transmitir os carregamentos ao terreno pela base (resistência de ponta) e por sua área lateral (resistência de fuste), de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010). Além disso, sua profundidade de assentamento deve ser maior que três metros.

Geralmente esse tipo de fundação é utilizado quando a resistência do solo é baixa e inviável para o uso de fundações superficiais. A resistência das estacas de fundações profundas é dada pela soma da resistência de base com a resistência lateral, e o modelo a ser utilizado deve ser determinado pelo profissional responsável, apoiando-se em estudos e aplicações.

Os principais grupos de fundações profundas são as fundações Pré-Moldadas e as Moldadas In-Loco (Tabela 1).

Tabela 1 - Fundações Profundas

Moldagem	Tipo de Estaca
Pré-Moldadas	Concreto Armado/Protendido
	Madeira
	Metálica
Moldadas In-Loco	Hélice Contínua
	Strauss
	Escavada
	Franki
	Raiz

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.2.1 Pré-Moldadas

São elementos cujo sua penetração no solo é realizada por “percussão, prensagem ou vibração”, segundo Alonso (1998, *apud* COSTA, 2015, p. 23).

Atualmente são pouco utilizadas, diante dos riscos no processo de execução e das inúmeras opções disponíveis no mercado. Seus principais tipos são as de concreto armado, madeira e metálica.

5.2.1.1 Concreto Armado e/ou Protendido

Velloso e Lopes (2010), afirmam que, “o concreto é aquele que melhor se presta à confecção de estacas”. Estas podem ser de concreto armado ou protendido.

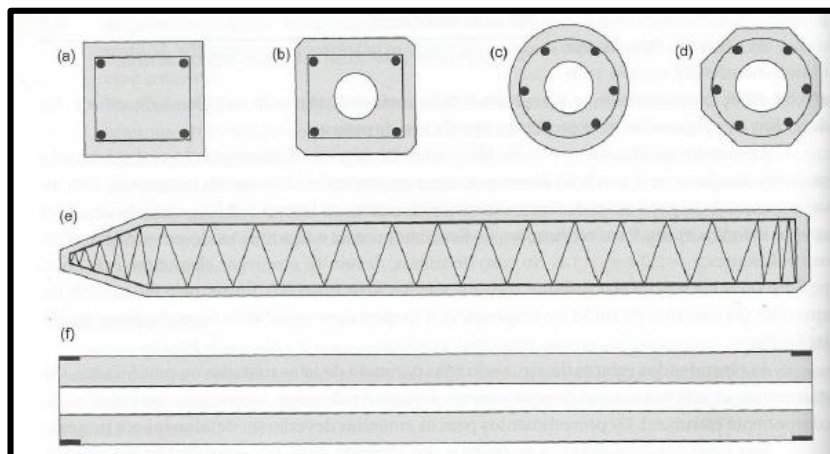
Estacas pré-moldadas possuem vantagens que podem ser bem aproveitadas quando melhor analisadas, como a qualidade do concreto que se pode obter, visto que os agentes agressivos não terão nenhuma ação na pega ou na cura diante sua moldagem, e no caso de solos encharcados, que dificulta a moldagem de outras enquanto esta já se mostra sólida, de acordo com Velloso e Lopes (2010).

Suas desvantagens estão ligadas ao custo de materiais e transporte, quando visto uma maior necessidade de armação para resistir aos impactos de cravação e suas dimensões e pesos significantes para manuseio. Além disso, Velloso e Lopes (2010), também relatam que “se a previsão de comprimento não for feita cuidadosamente, terá de enfrentar o problema do corte ou emenda de estacas, ocasionando prejuízos para a economia da obra”.

As geometrias para estacas pré-moldadas de concreto são muitas, sendo

mais comum as seções quadradas, circulares, sextavas e octogonais (Figura 9).

Figura 9 – Perfis típicos de estacas pré-moldadas



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Legenda: (a) a (d) seções transversais típicas; (e) seção longitudinal com armadura típica; (f) estaca com furo central e anel de emenda.

A escolha do modelo geométrico está ligado com dados geotécnicos e prováveis carregamentos transmitidos, tornando viável ao projeto.

Segundo Benapar (2011 apud COSTA, 2015, p. 25), “as principais seções circulares são de 23, 26, 33, 38, 42, 50, 60, e 70cm, já as demais podem apresentar seções laterais de 16, 18, 20, 23, 26, 30, 33, 35, 38 e 42cm” (Tabela 2).

Tabela 2 - Resistência Máxima para Estacas Quadradas

Largura	Carga Adm Máxima (KN)	Carga Adm Máxim (tf)
15	180	18
18	260	26
23	470	47
28	700	70
33	1000	100
38	1200	120
42	1300	130

Fonte: Benapar (apud Costa, 2015).

5.2.1.2 Madeira

As estacas de madeira possuem muitas limitações quanto ao seu uso. É estabelecido pela NBR 6122 (ABNT, 2010), que “se forem usadas para obras permanentes, terão que ser protegidas contra ataques de fungos, bactérias aeróbicas, térmitas e outros”.

A NBR 6122 (ABNT, 2010), também afirma que “a ponta e topo devem ter diâmetros maiores que 15 e 25cm, e que as estacas devem estar protegidas na cravação por cepos ou capacetes menos rígidos, para minimizar danos”.

5.2.1.3 Metálicas

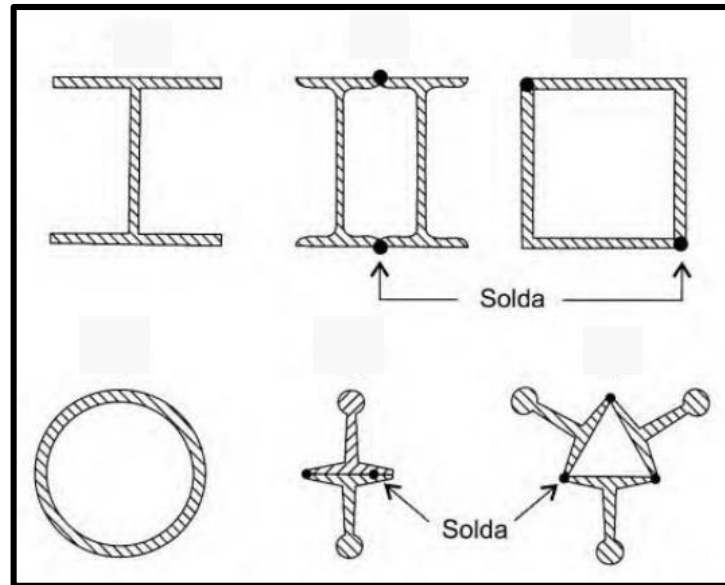
São estacas produzidas industrialmente, laminadas ou soldadas, com ou sem múltiplos, onde seus principais perfis geométricos são no formato “I e H”, havendo também o uso de trilhos, perfis quadrados, circulares e outros (NBR 6122, 2010, p. 4).

O processo de cravação deve ser realizado com cuidado quanto a equipamentos e esforços do martelo. A NBR 6122 (ABNT, 2010), afirma que, “a folga do martelo e o capacete não deve ser superior a 3cm em relação as guias do equipamento, sendo o formato do capacete adequado à seção e com folgas de encaixa inferior a 2cm”.

A NBR 6122 (ABNT, 2010), estabelece que, “o comprimento do suplemento deve ser limitado a 2,50m, e que as tensões durante a cravação sejam limitadas a 80% da tensão de escoamento do aço, e que as estacas devem ser retilíneas, podendo apresentar apenas 0,2% de flecha”.

Outros critérios devem ser considerados de acordo com a norma são: emendas e soldas, comprimentos mínimos de aproveitamento, controle e avaliação de serviços e registro da execução.

As seções a serem usadas devem seguir o que é estabelecido por norma, compreendendo o que se pede em projeto (Figura 10).

Figura 10 - Perfis típicos metálicos

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

A utilização de estacas metálicas também possui aspectos positivos e negativos, como sua boa resistência a esforços e sua fragilidade a corrosão. Com isso, a NBR 6122 (ABNT, 2010), exige que se admita uma perda de seção de acordo com o tipo de solo (Tabela 3).

Tabela 3 – Espessura de compensação de corrosão

Classe	Espessura de sacrifício (mm)
Solos em estado natural e aterros controlados	1,0
Argila orgânica;	1,5
Solos porosos não saturados	1,5
Turfa	3,0
Aterros não controlados	2,0
Solos contaminados	3,2

Fonte: NBR 6122 (ABNT,2010).

Sabendo os principais perfis usados nas fundações metálicas, muitas empresas criam seus perfis e fornecem os seus principais dados, colaborando na escolha do modelo mais adequado para o projeto (Figura 11, 12 e 13) (Tabela 4).

Figura 11 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 01

CARGA ADMISSÍVEL ESTRUTURAL													1,0 mm desc. no perímetro		Relângulo envolvente		Esbeltez local de acordo com a NBR 8800-2008			* CARGA ADMISSÍVEL ESTRUTURAL (Q . A's . f _y /1,65	
BITOLA DESIGNAÇÃO mm x kg/m	Massa linear kg/m	d mm	b _f mm	Espessura		h mm	d' mm	Área Bruta A _s cm ²	Perímetro U cm	Área reduzida A's cm ²	Área plana A cm ²	Mesa b _f /2.t _f λ _f	Alma d'/t _w λ _o	Coef. red. Q ≤1,00	f _y (Mpa) 345 kN	f _y (tf/cm ²) 3,5 tf					
				t _w mm	t _f mm																
W 150 x 22,5 (1)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	88	20,1	231	11,52	20,48	1,000	421	43					
W 150 x 29,8	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	90	29,5	240	8,23	17,94	1,000	617	63					
W 150 x 37,1	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	91	38,8	249	6,64	14,67	1,000	811	83					
W 200 x 35,9	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	103	35,4	332	8,09	25,90	1,000	740	75					
W 200 x 41,7	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	104	43,1	340	7,03	21,86	1,000	901	92					
W 200 x 46,1	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	119	46,7	412	9,23	22,36	1,000	976	100					
W 200 x 52,0	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	119	55,0	420	8,10	19,85	1,000	1150	117					
HP 200 x 53,0	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	120	56,2	422	9,16	14,28	1,000	1175	120					
W 200 x 59,0	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	120	64,0	431	7,22	17,32	1,000	1338	136					
W 200 x 71,0	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	122	78,8	445	5,92	15,80	1,000	1649	168					
W 200 x 86,0	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	123	98,5	464	5,07	12,06	1,000	2060	210					
HP 250 x 62,0 (1)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	147	64,9	630	11,96	19,10	1,000	1356	138					
W 250 x 73,0	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	148	77,8	643	8,94	23,33	1,000	1628	166					
W 250 x 80,0	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	149	87,0	653	8,17	21,36	1,000	1819	185					
HP 250 x 85,0 (1)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	150	93,6	660	9,03	13,97	1,000	1956	199					
W 250 x 89,0	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	150	98,9	666	7,40	18,82	1,000	2068	211					
W 250 x 101,0	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	151	113,6	678	6,56	16,87	1,000	2376	242					
W 250 x 115,0	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	153	130,8	697	5,86	14,87	1,000	2735	279					
HP 310 x 79,0 (1)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	177	82,3	915	13,91	22,27	0,988	1699	173					
W 310 x 93,0 (1)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	178	101,3	933	11,76	18,69	1,000	2118	216					
W 310 x 97,0 (1)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	179	105,7	939	9,90	24,77	1,000	2210	225					
W 310 x 107,0 (1)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	180	118,5	952	9,00	22,48	1,000	2477	253					
HP 310 x 110,0 (1)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	180	123,0	955	10,00	15,91	1,000	2571	262					
W 310 x 117,0 (1)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	180	131,9	964	8,21	20,55	1,000	2758	281					
HP 310 x 125,0 (1)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	181	140,9	973	8,97	14,09	1,000	2946	300					

Fonte: Gerdau (2019).

Figura 12 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 02

W 250 x 115,0	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	153	130,8	697	5,86	14,87	1,000	2735	279
HP 310 x 79,0 (1)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	177	82,3	915	13,91	22,27	0,988	1699	173
HP 310 x 93,0 (1)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	178	101,3	933	11,76	18,69	1,000	2118	216
W 310 x 97,0 (1)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	179	105,7	939	9,90	24,77	1,000	2210	225
W 310 x 107,0 (1)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	180	118,5	952	9,00	22,48	1,000	2477	253
HP 310 x 110,0 (1)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	180	123,0	955	10,00	15,91	1,000	2571	262
W 310 x 117,0 (1)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	180	131,9	964	8,21	20,55	1,000	2758	281
HP 310 x 125,0 (1)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	181	140,9	973	8,97	14,09	1,000	2946	300
W 360 x 91,0	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	168	99,2	897	7,74	30,34	1,000	2074	211
W 360 x 101,0	101,0	357	255	10,5	18,3	320	288	129,5	168	112,6	910	6,97	27,28	1,000	2355	240
W 360 x 110,0	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	169	123,7	922	6,43	25,28	1,000	2585	264
W 360 x 122,0	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	170	138,3	933	5,92	22,12	1,000	2891	295
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	67	9,9	148	10,20	27,49	1,000	207	21
W 150 x 18,0	16,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	69	16,5	156	7,18	20,48	1,000	346	35
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	69	24,5	163	4,95	17,48	1,000	512	52
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	77	11,7	200	9,62	39,44	0,973	237	24
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	79	17,3	207	7,85	29,31	1,000	361	37
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	79	21,1	210	6,38	27,42	1,000	440	45
W 200 x 26,6 (2)	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	92	25,1	275	7,92	29,34	1,000	524	53
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	93	31,1	281	6,57	26,50	1,000	650	66
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	88	14,3	254	9,53	45,92	0,921	276	28
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	89	20,0	259	7,39	37,97	0,980	410	42
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	89	23,7	262	6,07	36,10	0,996	484	50
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	90	27,6	265	5,10	34,38	1,000	578	59
W 250 x 32,7 (1) (2)	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	107	31,4	377	8,02	36,03	0,997	654	67
W 250 x 38,5 (2)	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	108	38,8	385	6,56	33,27	1,000	811	83
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	109	46,7	394	5,69	28,95	1,000	976	99
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	98	17,4	306	8,86	53,25	0,865	315	32
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	99	20,9	308	7,54	48,50	0,897	391	40
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	100	26,5	315	5,73	45,20	0,928	514	52
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	100	32,1	319	4,72	41,12	0,958	642	66
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	125	37,2	512	8,51	46,66	0,942	733	75
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	126	44,6	520	7,41	41,00	0,970	905	92
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	127	54,3	529	6,33	35,61	1,000	1136	116

Fonte: Gerdau (2019).

Figura 13 - Perfis e dados disponibilizados pela empresa Gerdau - 03

W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	126	44,6	520	7,41	41,00	0,970	905	92	W 310 x 44,5
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	127	54,3	529	6,33	35,61	1,000	1136	116	W 310 x 52,0
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	117	30,3	443	7,47	53,10	0,888	563	57	W 360 x 32,9
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	118	38,3	452	5,98	47,32	0,923	740	75	W 360 x 39,0
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	135	44,2	602	8,72	44,70	0,943	870	89	W 360 x 44,6
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	136	51,2	607	7,37	42,75	0,957	1025	104	W 360 x 51,0
W 360 x 58,0	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	137	58,8	616	6,56	38,96	0,979	1204	123	W 360 x 58,0
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,6	146	67,0	704	7,52	37,40	0,991	1388	142	W 360 x 64,0
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	147	76,6	714	6,75	33,47	1,000	1602	163	W 360 x 72,0
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	148	86,4	726	6,10	30,68	1,000	1806	184	W 360 x 79,0
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	132	37,0	559	7,95	55,84	0,866	671	68	W 410 x 38,8
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	58,2	133	45,9	564	6,25	50,94	0,900	864	88	W 410 x 46,1
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	66,4	148	53,6	713	8,12	47,63	0,923	1035	106	W 410 x 53,0
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	149	61,3	724	6,95	46,42	0,935	1198	122	W 410 x 60,0
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	150	71,4	734	6,22	40,59	0,967	1443	147	W 410 x 67,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	151	80,7	743	5,63	36,80	0,982	1674	171	W 410 x 75,0
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	152	93,4	755	4,97	32,72	1,000	1954	199	W 410 x 85,0
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	147	51,9	684	7,04	53,21	0,878	953	97	W 460 x 52,0
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	149	61,4	696	5,75	50,55	0,901	1156	118	W 460 x 60,0
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	150	72,7	707	5,00	44,42	0,937	1423	145	W 460 x 68,0
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	164	78,5	868	6,55	44,89	0,939	1542	157	W 460 x 74,0
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	164	88,3	879	5,97	40,81	0,964	1760	181	W 460 x 82,0
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	165	97,6	889	5,42	38,44	0,980	2000	204	W 460 x 89,0
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	166	106,8	899	5,08	35,44	1,000	2232	228	W 460 x 97,0
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	167	118,4	910	4,71	32,05	1,000	2475	252	W 460 x 106,0
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	167	66,8	866	7,24	53,73	0,862	1205	123	W 530 x 66,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	184	73,2	1085	6,50	53,13	0,876	1340	137	W 530 x 72,0
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	168	78,2	878	6,10	48,26	0,884	1463	149	W 530 x 74,0
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	185	85,9	1104	7,86	50,25	0,900	1618	165	W 530 x 82,0
W 530 x 85,0	85,0	533	166	10,3	16,5	502	478	107,7	169	90,8	888	5,03	46,41	0,918	1743	178	W 530 x 85,0
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	186	99,0	1114	6,70	46,84	0,923	1911	195	W 530 x 92,0
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	186	111,4	1128	6,03	43,14	0,948	2208	225	W 530 x 101,0
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	187	121,0	1137	5,61	40,47	0,965	2442	249	W 530 x 109,0
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	207	128,6	1375	7,65	51,54	0,893	2047	209	W 610 x 101,0
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	208	129,5	1386	6,59	48,34	0,914	2380	243	W 610 x 113,0
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	209	138,2	1401	5,84	45,45	0,933	2717	277	W 610 x 125,0
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	210	158,3	1419	5,18	41,27	0,960	3177	324	W 610 x 140,0
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	247	173,4	1980	8,53	42,60	0,957	3471	354	W 610 x 155,0
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	248	198,0	2002	7,52	38,63	0,981	4060	414	W 610 x 174,0

Fonte: Gerdau (2019).

Tabela 4 - Perfis de trilhos disponíveis para uso em fundação

Denominação	Massa (Kg/m)	Carga Adm Máxim (tf)
TR 25	25	25 – 20*
TR 32	32	35 – 25*
TR 37	37	40 – 30*
TR 45	45	45 – 35*
TR 50	50	55 – 40*
TR 57	57	60 – 45*

* Os valores entre parênteses referem-se a trilhos usados com redução máxima de peso de 20%.

Fonte: Benapar (apud Costa2015).

5.2.2 Estacas Moldadas In-Loce

São estacas moldadas em respectivos furos no terreno da obra com concreto simples ou armado NBR 6122 (ABNT, 2010).

São diversos os tipos de estacas moldadas in-loce, onde cada qual tem sua metodologia de execução. O processo de perfuração, colocação de armadura (quando necessário) e concretagem, é similar para todos, entretanto, existem pontos importantes a serem analisados diante os termos de projeto e geotécnicos.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) diz que, “caso as cargas de compressão solicitadas não excederem os parâmetros de dimensionamento, podem ser executadas apenas com concreto simples” (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros de dimensionamento

Tipo de Estaca	f_{ck} (MPa) máximo de projeto	γ_f	γ_c	γ_s	Comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com bloco) e % de armadura mínima		Tensão média atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) (MPa)
					Armadura %	Comprimento (m)	
Hélice/hélice de deslocamento	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4,0	6,0
Escavadas sem fluidos	15	1,4	1,9	1,15	0,5	2,0	5,0
Escavadas com fluidos	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4,0	6,0
Strauss	15	1,4	1,9	1,15	0,5	2,0	5,0
Franki	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	-
Tubulões não encamisados	20	1,4	1,8	1,15	0,5	3,0	5,0
Raiz	20	1,4	1,6	1,15	0,5	Armadura integral	-
Mircroestacas	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	-
Estaca trado vazado segmentado	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	-

a) Neste tipo de estaca o comprimento da armadura é limitado devido ao processo executivo.

b) Neste tipo de estaca o diâmetro a ser considerado no dimensionamento é o diâmetro externo do revestimento.

c) No caso destas estacas, deve-se observar que quando for utilizado aço com resistência até 500 MPa e a porcentagem de aço for $\leq 6\%$ da seção da estaca, à estaca deve ser dimensionada como pilar de concreto armado. Quando for utilizado aço com resistência ≥ 500 MPa ou a porcentagem de aço for $\geq 6\%$ da seção real, toda carga deve ser resistida pelo aço. Esta limitação está relacionada com a garantia de preenchimento pleno do furo com argamassa ou calda de cimento.

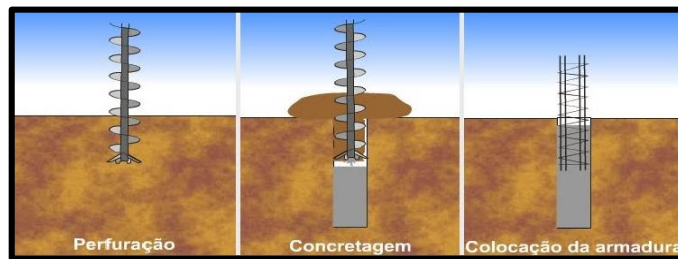
d) O f_{ck} máximo de projeto desta Tabela é aquele que deve ser empregado no dimensionamento estrutural da peça.

Fonte: NBR 6122 (ABNT,2010).

Caso os parâmetros não sejam obedecidos, deverá ser dimensionada com armadura de acordo com NBR 6118 (ABNT, 2014).

A perfuração pode ser realizada com trado mecânico, manual ou perfuratriz, e a colocação da armadura pode ser antes ou depois, isso varia conforme o tipo escolhido (Figura 14).

Figura 14 - Perfuração com trado e moldagem



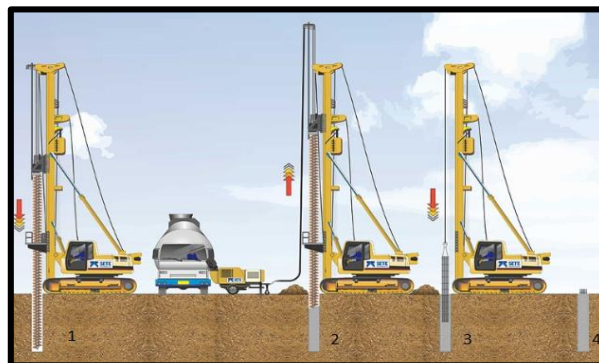
Fonte: Trabalho de fundações (2019).

5.2.2.1 Hélice Contínua

Estaca de concreto moldada in-loco, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado simultaneamente com a sua retirada, sendo que a armadura é introduzida após a concretagem da estaca (ABNT, NBR 6122, p. 5).

Este tipo de estaca surgiu nos Estados Unidos, e só a partir dos anos 80 passou a ser utilizada no Brasil (COSTA, 2015, p. 31). A execução desta é realizada com um guincho, em que introduz uma hélice ao solo de forma contínua até a profundidade de assentamento determinada (Figura 15).

Figura 15 - Execução de estacas hélice contínua



Fonte: Adaptado de escolaengenharia(2019).

Legenda: (1) – perfuração; (2) – concretagem sob pressão; (3) – colocação da armadura; (4) – estaca finalizada.

A Tabela 6 apresenta a relação entre as cargas admissíveis, diâmetros e armaduras para modelos hélice contínua.

Tabela 6 - Cargas máximas admissíveis e armaduras para hélice-contínua

Diâmetro (cm)	Cargas Máximas Adm (tf)	Armadura para Carga de Trabalho	Estribos
35	87,50	4 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
40	100,00	4 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
50	125,00	5 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
60	150,00	6 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
70	175,00	6 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
80	200,00	8 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
90	225,00	10 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm
100	250,00	12 Φ 16mm c/6,00m	Φ 6,3mm c/20cm

Fonte: Geofund (apud Costa, 2015).

Atualmente são muito utilizadas e se faz necessário conhecer seus perfis e resistências de carga, logo, também é importante verificar a disponibilidade das máquinas e tamanho das hélices de perfuração na região, pois o custo do deslocamento do guincho torna-se significativo, quando relacionado ao percurso até a obra (Tabela 7).

Tabela 7 - Características da mesa rotativa e do guincho

Torque (kNm)	Arranque (kN)	Dimensões da estaca (cm)
<80	400	Φ até 50 cm com comprimento de 17,0 m
80 a 150	400	Φ até 80 cm com comprimento de 27,0 m
≥ 160	700	Φ até 120 cm com comprimento de 30,0 m

Fonte: NBR 6122 (ABNT,2010).

5.2.2.2 Strauss

“Estaca executada por perfuração do solo com uma sonda ou piteira e revestimento total com camisa metálica, realizando-se o lançamento do concreto e retirada gradativa do revestimento com simultâneo apiloamento do concreto” (ABNT, NBR 6122, 2010, p. 4).

A execução da estaca é feita com o lançamento do concreto que forma uma coluna no tubo de aproximadamente 1,0m a 2,0m para formação da ponta da estaca, e dado sequência junto a retirada do tubo metálico simultaneamente. O revestimento integral do tubo garante que não aja mistura do solo com o concreto e/ou danos ao longo do fuste (ABNT, NBR 6122, 2010, Anexo G, p. 56).

A NBR 6122 (ABNT, 2010), estabelece que, “este tipo de estaca não deve ser usado em areias submersas ou em argilas saturadas”. A Tabela 8 apresenta as cargas e características para alguns perfis.

Tabela 8 - Cargas e características para estaca strauss

Capacidade de Carga (t)	Diâmetro Nominal (cm)	Diâmetro Interno de Tubulação (cm)	Distância Mínima do eixo da Estaca (A divisa)
20	25	20	15
30	32	25	20
40	38	30	25
60	45	38	30
80	55	48	45

Fonte: FxSondagens (2019).

5.2.2.3 Escavada Mecanicamente

“Estaca executada por perfuração do solo através de trado mecânico, sem emprego de revestimento ou fluido estabilizante”, conforme a NBR 6122 (2010).

“A perfuração é realizada por um trado curto conectado a uma haste, e sua profundidade é limitada ao lençol freático (Figuras 16 e 17). A concretagem deve ser realizada no mesmo dia da perfuração, assim como a colocação das armaduras” (ABNT, NBR 6122, 2010).

Figura 16 - Escavada mecanicamente - 01



Fonte: GeoStrauss (2019).

Figura 17 - Escavada Mecanicamente - 02



Fonte: GeoStrauss (2019).

Este tipo de fundação pode chegar a grandes diâmetros de perfuração, sendo esse até 2,50m, levando a ser chamada de estação.

5.2.2.4 Raiz

“Estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, moldada na obra e executada através de perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis” (ABNT, NBR 6122, 2010). As Tabelas abaixo (9 e 10), expõem dados importantes sobre este tipo de estaca.

Tabela 9 - Diâmetros nominais e diâmetros dos revestimentos

Diâmetro Nominal da Estaca (mm)	150	160	200	250	310	400	450
Diâmetro Mínimo Externo do Tubo de Revestimento (mm)	127	141	168	220	273	355	406

Fonte: NBR 6122 (ABNT,2010).

Tabela 10 - Cargas admissíveis para estacas raiz

Seção de Aço Longitudinal (cm²)	Carga Máxima a Compressão (kN)						
3,15	180	230	290	440	640	1010	1260
3,88	200	250	310	460	660	1030	1280
4,00	200	250	310	470	660	1040	1280
5,00	220	280	340	490	690	1060	1310
6,00	250	300	360	520	710	1090	1330
6,30	260	310	370	520	720	1090	1340
7,70	290	340	410	560	760	1130	1380
8,00	300	350	410	570	760	1140	1380
9,45		390	450	600	800	1170	1420
10,00		400	460	620	810	1190	1430
11,64			500	660	850	1230	1480
12,00				670	860	1240	1490
12,60				680	880	1250	1500
14,00				720	910	1290	1540
15,00					940	1310	1560
15,52					950	1330	1570
15,75					960	1330	1580
18,90					1040	1410	1660
19,40							1670
20,00							1690
22,05							1740
23,28							1770
25,00							1810
27,16							1870
30,00							1940

Fonte: Benapar (apud Costa, 2015).

Este tipo de estaca pode ser executada de forma vertical ou inclinada, quando necessário, isso devido a tecnológica presente no método de execução.

5.2.2.5 Franki

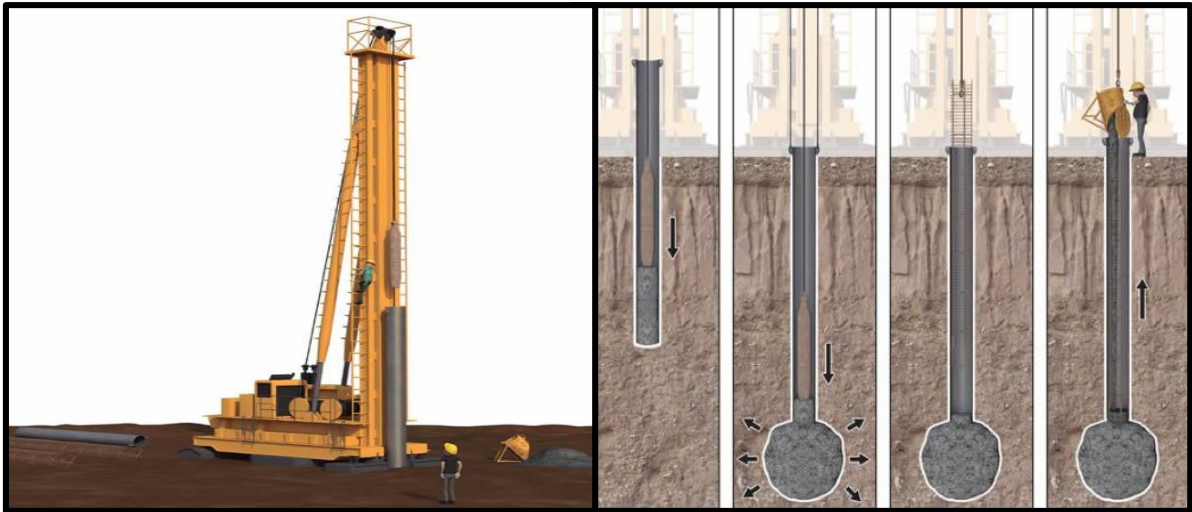
“Estaca executada por cravação, por meio de sucessivos golpes de um pilão, de um tubo de ponta fechada por uma bucha seca constituída de pedra e areia, previamente firmada na extremidade inferior do tubo por atrito” (ABNT, NBR 6122, 2010) (Tabela 11) (Figura 18).

Tabela 11 - Peso do pilão conforme o diâmetro da estaca

Diâmetro da Estaca (mm)	Massa Mínima do Pilão (t)	Diâmetro Mínimo do Pilão (mm)
300	1,0	180
350	1,5	220
400	2,0	250
450	2,5	280
520	2,8	310
600	3,0	380

Fonte: NBR 6122 (ABNT,2010).

Figura 18 - Execução de estacas franki



Fonte: Adaptado, Infraestruturaurbana (2019).

6 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

O estudo do solo é indispensável para qualquer edificação, e conhecer suas características permite classificar cada camada de solo. Pode-se realizar os ensaios em laboratório ou no terreno desejado.

O conhecimento do solo torna possível escolher a melhor fundação para cada situação. Vale salientar, que em um mesmo terreno pode haver mais que um tipo de solo, possibilitando a existência de mais que um tipo de fundação, se necessário.

6.1 ENSAIO STANDARD PENETRATION TEST – SPT

É um ensaio realizado por torque, onde sua penetração é realizada manualmente. A quantidade de torque para penetração é medida para análise do atrito lateral.

Os principais elementos que compõem este ensaio são:

- Tripé
- Martelo
- Amostrador

O ensaio é realizado com a penetração do amostrador de 45cm de comprimento no solo, através dos impactos de um martelo, com cerca de 65kg, a uma de 75cm do amostrador (COSTA, 2015, p. 36).

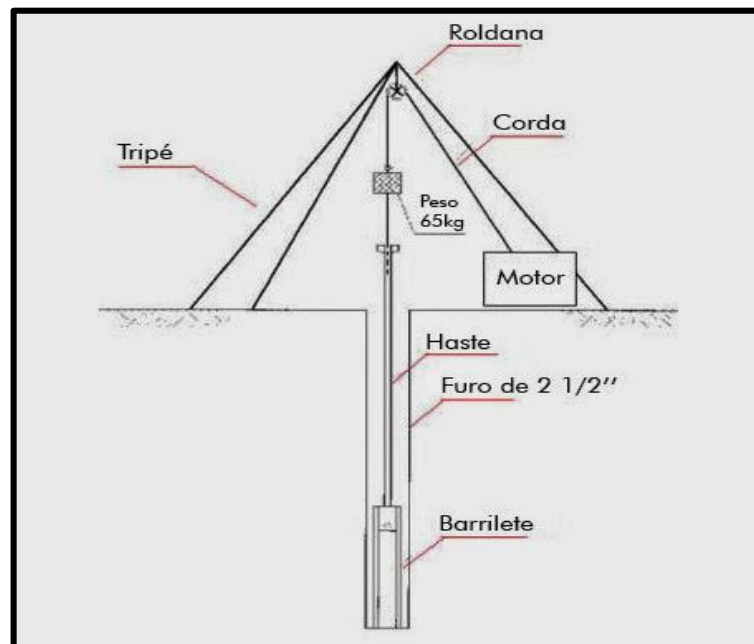
Costa (2015), também completa que, “o número de golpes para penetrar uma camada de 30cm é medido e a resistência do solo é a soma dos golpes”.

A NBR 6484 (ABNT, 2001), estabelece que “até a profundidade de 1,0m, o solo seja retirado com trados ou cavadeiras manuais”. O processo de penetração, retirada do solo e lavagem é seguido até que se atenda as seguintes condições:

- Quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador;
- Quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador.

As Figuras abaixo (19 e 20), retratam o processo de execução deste ensaio.

Figura 19 – Esquema da execução do ensaio SPT



Fonte: Escola engenharia (2019).

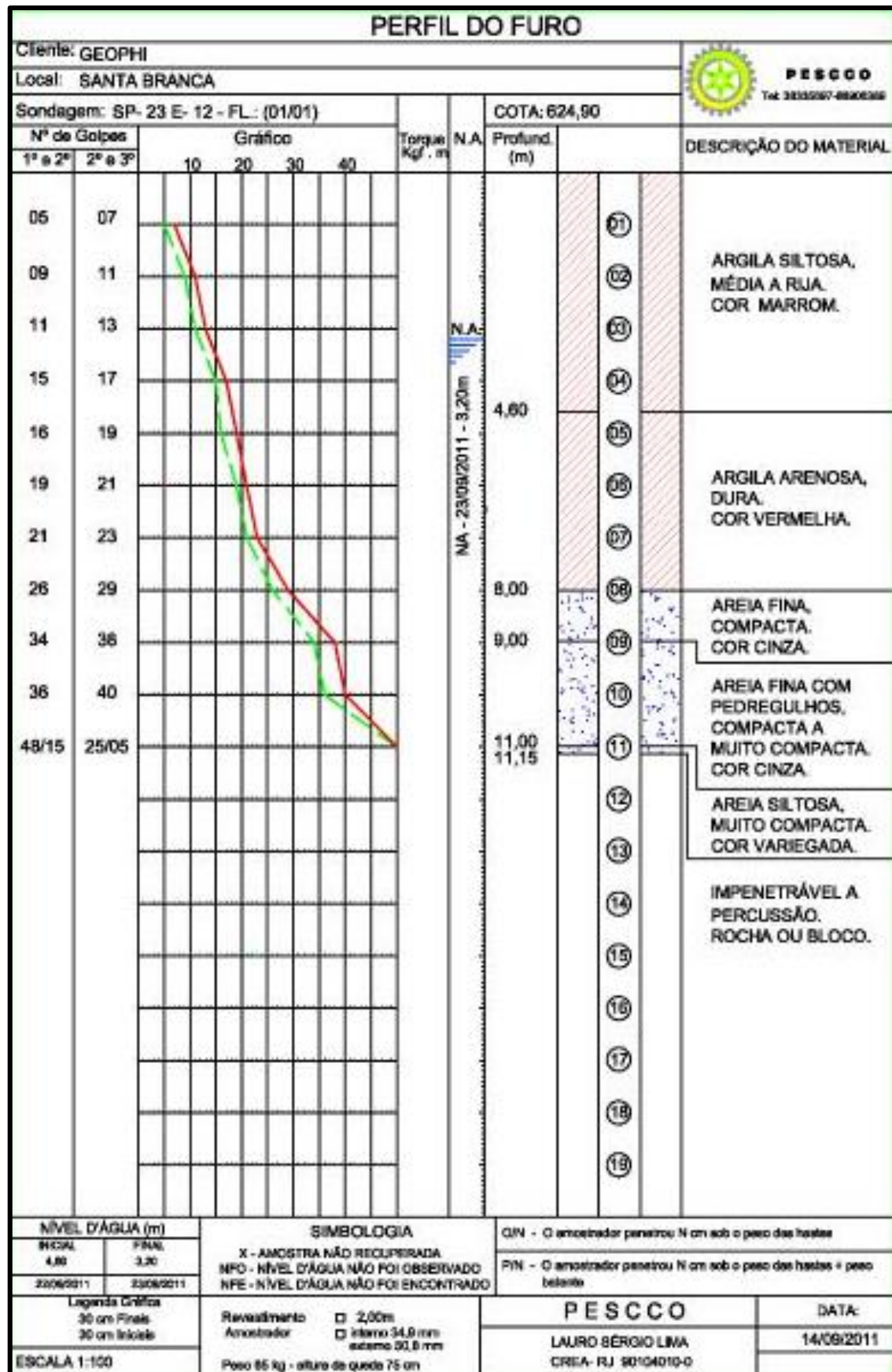
Figura 20 - Execução do ensaio SPT



Fonte: Concreta (2019).

É importante que a coleta de dados seja realizada com cautela para que aja segurança e precisão nos resultados finais. Após a coleta de dados do solo constrói-se o relatório, onde é usado para definir as fundações adequadas (Figura 21).

Figura 21 - Relatório geotécnico final



Fonte: Ebah (2019).

6.2 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE CONE E PIEZOCONO (CPT E CPT-U)

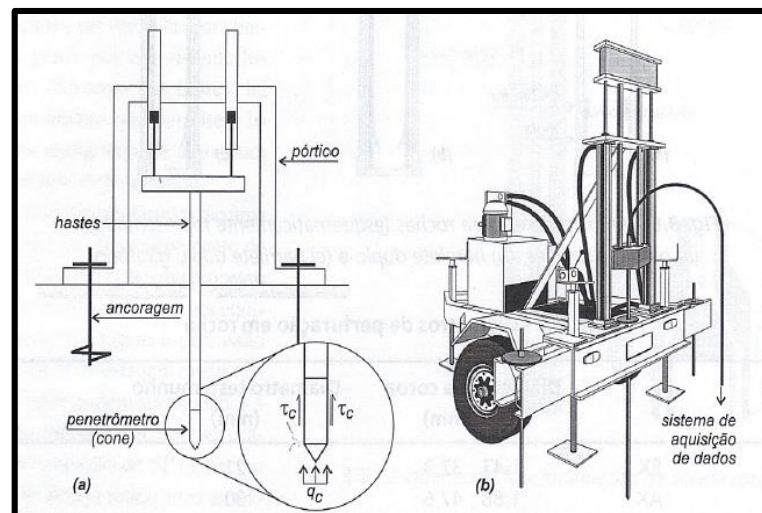
“Ensaio desenvolvido na Holanda por volta da década de 1930, com intuito de analisar solos moles e gerar dados computacionais a cada 20cm, através da cravação de estacas com ponta alongada em forma de cone a uma velocidade de 2cm/s” (VELLOSO E LOPES, 2010, p. 41).

Também é conhecido como “ensaio de cravação estática” por ser cravado por uma máquina hidráulica e obter poucas variações de execução.

Na Figura 22 ilustra-se:

- a) Princípio de funcionamento;
- b) Equipamento da execução.

Figura 22 - Ensaio CPT



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Na aplicação do método mede-se a resistência de ponta (q_c), a resistência de atrito lateral (f_s) e seguidamente usa-se a correlação (F_r , em %) destes dados para encontrar o tipo de solo.

Segundo a NBR 12069:(ABNT, 1991), nos ensaios de penetração de cone in situ (CPT) as ponteiros do cone podem ser mecânicas ou elétricas”.

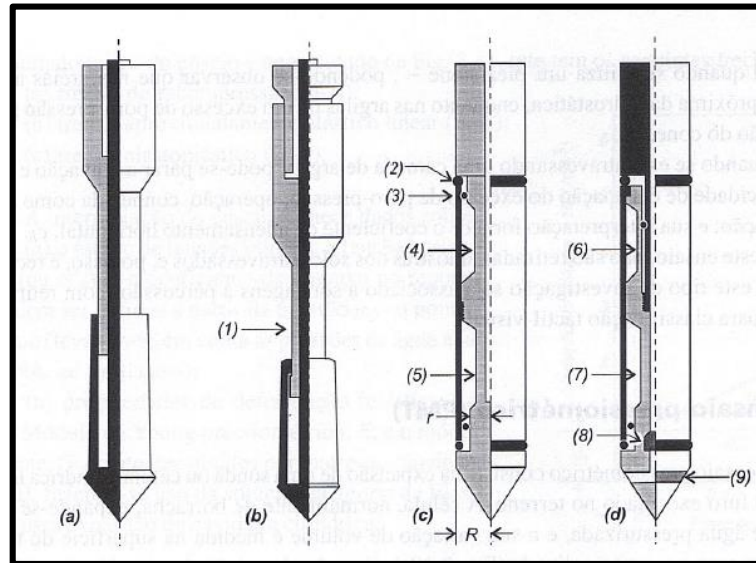
A ponteira elétrica possui um ou mais elementos elétricos para medir os componentes de resistência à penetração e a ponteira mecânica possui a mesma função, só que essa resistência é medida por meio de hastes internas.

Posteriormente na década de 1970, surgiram os “cones elétricos”, que usam células elétricas nos cones para as medições de cargas. Seguidamente houveram

aprimoramentos como a implementação de medidores de pressão da água, chamado de piezocone (VELLOSO E LOPES, 2010, p.42).

Velloso e Lopes (2010), mostram que, “com o piezocone é possível medir além das resistências o nível da água no solo” (Figuras 23 e 24).

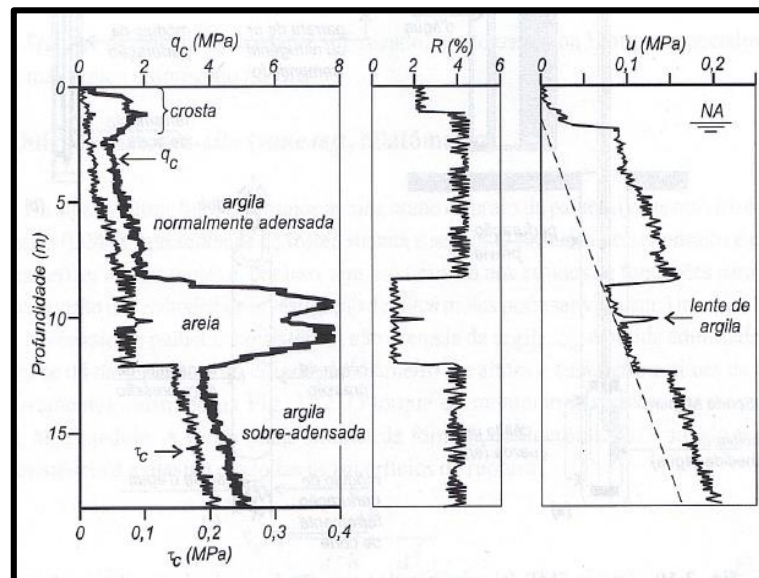
Figura 23 - Características dos Cones



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Legenda: a) Penetrômetro de Delft (mais antigo); b) Penetrômetro de Begemann; c) Cone elétrico; d) Piezocone (modelo usado pela COPPE-UFRJ). Indicados por: (1) luva de atrito; (2) anel de vedação do solo; (3) anel de vedação de água; (4) célula de carga total; (5) célula de carga de ponta; (6) célula de carga de atrito; (7) célula de carga de ponta; (8) medidor de poropressão e (9) elemento poroso.

Figura 24 - Resultados de um Ensaio com Piezocone



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

6.3 ENSAIO DE PALHETA (VANE TEST)

Ensaio usado para determinar a resistência ao cisalhamento em argilas moles, sendo esta resistência não drenada e dada por S_u .

“Este ensaio foi realizado pela primeira vez em Estocolmo, na Suécia, durante a construção de uma ponte entre os anos de 1917 e 1926. No entanto, apenas depois da década de 1940 foi que o interesse no ensaio cresceu na Europa”, conforme Quaresma (apud COSTA, 2015).

A resistência não drenada da argila (S_u), é encontrada admitindo-se que a ruptura se dá na superfície do cilindro. Para sua definição é medido a altura e diâmetro do cilindro (respectivo a palheta) e o torque (ou momento) necessário na palheta para causar a ruptura no solo (VELLOSO E LOPES, 2010, p. 45).

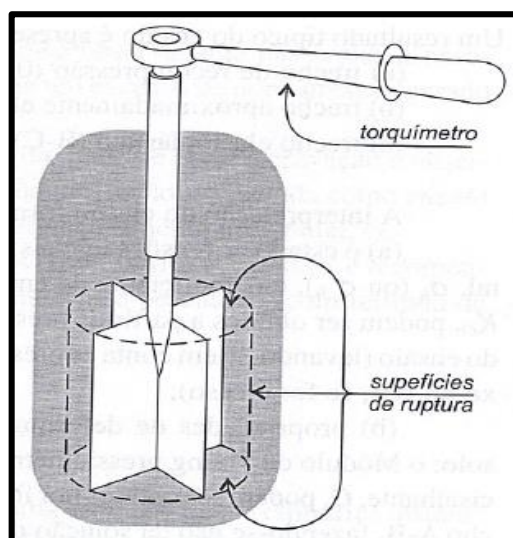
Segundo Velloso e Lopes (2010), a equação mais simples para cálculo, supõe que a resistência é a mesma em todas as superfícies de ruptura (Figura 25).

$$S_u = \frac{M}{\pi \left(\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6} \right)} \quad \text{Eq. [01]}$$

Onde:

- M = torque ou momento aplicado para causar a ruptura;
- d = diâmetro do cilindro (respectivo a palheta);
- h = altura do cilindro (respectivo a palheta).

Figura 25 - Palheta



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

7 CAPACIDADE DE CARGA

De acordo com a NBR 6122 (2010), “a carga admissível (ou carga de projeto) é a grandeza fundamental para o projeto de fundações. Essas cargas ou tensões devem obedecer ao estado-limite último (ELU) e estado-limite de serviço (ELS) do projeto de fundações”.

De acordo com as citações na NBR 6122 (2010), a carga admissível se caracteriza como sendo a resistência do solo quanto ao esforço solicitante, calculada com base nas características do material e coeficientes de segurança, onde deve ser superior a carga de ruptura (ou capacidade de carga).

7.1 CAPACIDADE DE CARGA EM SAPATAS – FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

A capacidade de carga (σ) média em uma sapata está atrelada a relação entre o esforço (P) aplicado e sua área de base, largura (B) e comprimento (L), isso para o caso de sapatas quadradas ou retangulares (CINTRA, AOKI, 2010, p. 21).

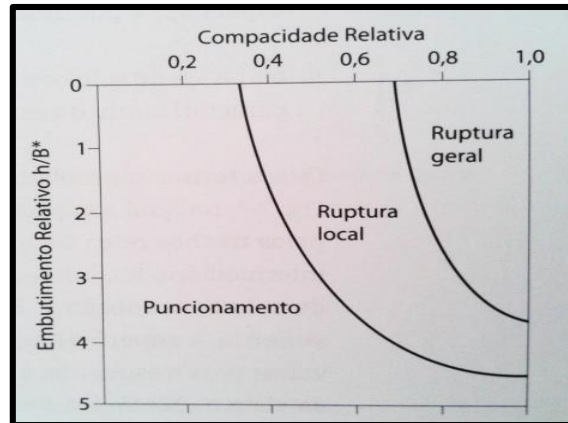
Sendo a expressão dada por:

$$\sigma_r = \frac{P}{B.L} \quad \text{Eq. [02]}$$

Vesic (1975), denomina três modos de ruptura, sendo o primeiro ruptura geral, o segundo ruptura por punção e o terceiro ruptura local, conforme Cintra e Aoki (2010).

A ruptura geral ocorre nos solos de maior resistência, havendo uma ruptura súbita e catastrófica do solo. Em contrapartida, a ruptura por punção ocorre em solos menos resistentes, havendo uma penetração da sapata no solo até um possível tombamento. E posterior a esses, Vesic (1975), considera a ruptura local, que ocorre em solos de média resistência e apresenta características dos modos de ruptura geral e por punção (CINTRA, AOKI, 2010, p. 22) (Figura 26).

Figura 26 - Modos de ruptura em areia



Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010).

O método pioneiro neste tema é o método teórico de Terzaghi (1943), que considerava apenas dois modos de ruptura, a ruptura geral e ruptura local. Deste modo, interpreta-se a ruptura local de Terzaghi igual a ruptura por puncionamento de Vesic (CINTRA, AOKI, 2010, p. 25).

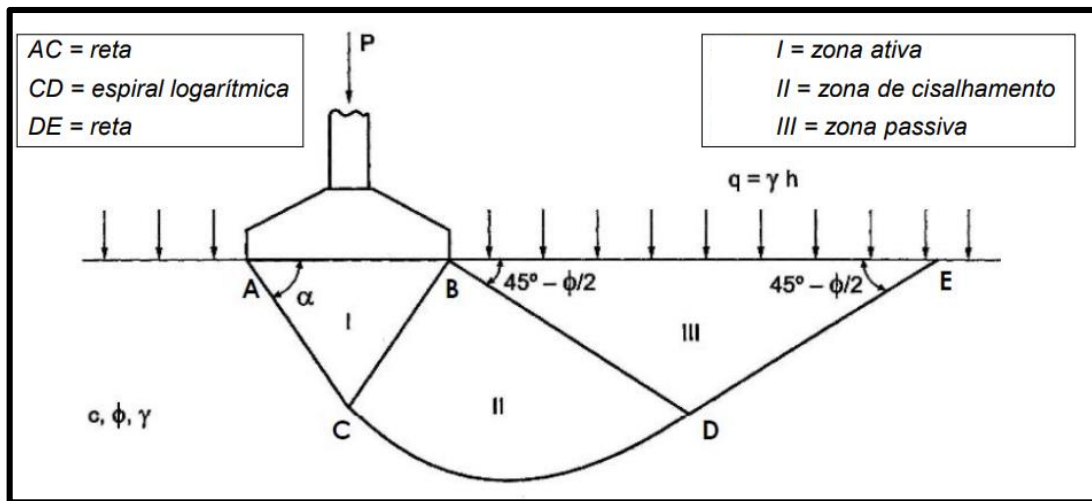
7.1.1 Método de Terzaghi e Peck (1967) e as proposições de Vesic (1975)

“Karl Terzaghi, o pai da mecânica dos solos, foi o pioneiro no desenvolvimento de uma teoria de capacidade de carga de um sistema sapata-solo” (CINTRA, AOKI, 2010, p. 26).

Segundo Cintra e Aoki (2010), Terzaghi considera três hipóteses básicas:

1. Para sapata corrida, L é bem maior do que sua largura B ($L \geq 5B$), simplificando o problema para um caso bidimensional;
2. A profundidade de embutimento da sapata é inferior a largura da sapata ($h \leq B$), o que permite desprezar a resistência ao cisalhamento da camada de solo situada acima da cota de apoio da sapata podendo substituir essa camada de espessura h e peso específico γ por uma sobrecarga $q = \gamma h$;
3. O maciço de solo sob a base da sapata é rígido o caracteriza o caso de ruptura geral.

Com base nessas considerações, Terzaghi (1943) esquematiza sua problemática (CINTRA, AOKI, 2010, p. 27) (Figura 27).

Figura 27 - Superfície potencial de ruptura

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki (2010).

7.1.1.1 Ruptura Geral e por Puncionamento

Terzaghi e Peck (1967), apresentam equações semi-empíricas para sapata circulares e sapatas quadradas, logo, posteriormente essas equações foram agrupadas com fatores de forma, formando uma equação única (Eq. 03) para o cálculo de ruptura geral de sapatas (Tabela 12) (CINTRA, AOKI, 2010, p. 30).

$$\sigma_r = C \cdot N_c \cdot S_c + q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \quad \text{Eq. [03]}$$

Onde:

- C = coesão do solo;
- q = sobrecarga ao nível da base;
- γ = peso específico do solo;
- N_c , N_q e N_γ = fatores de capacidade de carga (Tabela 13);
- B = menor dimensão da sapata;

Tabela 12 - Fatores de forma de Terzaghi e Peck

Sapata	S_c	S_q	S_γ
Corrida (lado B)	1	1	1
Quadrada (B – L)	1,2	1	0,8
Circular (B = Diâmetro)	1,2	1	0,6

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

As variáveis que complementam a equação são a coesão não drenada (C) e o ângulo de atrito (Φ), dadas pelas seguintes expressões:

- Coesão não drenada:

$$C = 10 N_{spt} \quad \text{Eq. [04]}$$

- Ângulo de atrito:

$$\Phi = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{spt} \quad \text{Eq. [05]}$$

Vesic (1975), propõe duas mudanças no cálculo de ruptura geral, primeiro, ele pede que seja utilizado o fator de capacidade de carga N_γ de Caquot e Kérisel (1953) (Eq. 06) (Tabela 13). Em segundo, Vesic (1975), diz preferir os fatores de forma de De Beer (1967) (Tabela 14) (CINTRA, AOKI, 2010, p. 32).

$$N_\gamma \cong 2(N_q + 1 \operatorname{tg} \Phi) \quad \text{Eq. [06]}$$

Onde:

- N_q = fator de capacidade de carga (Tabela 13);
- $\operatorname{tg} \Phi$ = tangente do ângulo de atrito (Tabela 13).

Tabela 13 - Fatores de capacidade de carga de Vesic (1975)

Φ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\operatorname{tg} \Phi$
0,00	5,14	1,00	0,00	0,19	0,00
1,00	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02
2,00	5,63	1,20	0,15	0,21	0,03
3,00	5,90	1,31	0,24	0,22	0,05
4,00	6,19	1,43	0,34	0,23	0,07
5,00	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
6,00	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11
7,00	7,16	1,88	0,71	0,26	0,12
8,00	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14
9,00	7,92	2,25	1,03	0,28	0,16
10,00	8,34	2,47	1,22	0,30	0,18
11,00	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19
12,00	9,28	2,97	1,69	0,32	0,21
13,00	9,81	3,26	1,97	0,33	0,23
14,00	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25
15,00	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27

16,00	11,63	4,34	3,06	0,37	0,29
17,00	12,34	4,77	3,53	0,39	0,31
18,00	13,10	5,26	4,07	0,40	0,32
19,00	13,93	5,80	4,68	0,42	0,34
20,00	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
21,00	15,81	7,07	6,20	0,45	0,38
22,00	16,88	7,82	7,13	0,46	0,40
23,00	18,05	8,66	8,20	0,48	0,42
24,00	19,32	9,60	9,44	0,50	0,45
25,00	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
26,00	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
27,00	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
28,00	25,80	14,72	16,72	0,57	0,53
29,00	27,86	16,44	19,34	0,59	0,55
30,00	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
31,00	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
32,00	35,49	23,18	30,21	0,65	0,62
33,00	38,64	26,09	35,19	0,68	0,65
34,00	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
35,00	46,12	33,30	48,03	0,72	0,70
36,00	50,59	37,75	56,31	0,75	0,73
37,00	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
38,00	61,35	48,93	78,02	0,80	0,78
39,00	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
40,00	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
41,00	83,86	73,90	130,21	0,88	0,87
42,00	93,71	85,37	155,54	0,91	0,90
43,00	105,11	99,01	186,53	0,94	0,93
44,00	118,37	115,31	224,63	0,97	0,97
45,00	133,87	134,87	271,75	1,01	1,00
46,00	152,10	158,51	330,35	1,04	1,04
47,00	173,64	187,21	403,67	1,08	1,07
48,00	199,26	222,31	496,01	1,12	1,11
49,00	229,93	265,51	613,16	1,15	1,15
50,00	266,89	319,07	762,89	1,20	1,19

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Tabela 14 - Fatores de forma de De Beer (1953)

Sapata	Sc	Sq	Sy
Corrida	1	1	1
Retangular	$1+(B/L)(N_q/N_c)$	$1+(B/L)tg\Phi$	$1+0,4(B/L)$
Circular quadrada	$1+(N_q/N_c)$	$1+tg\Phi$	0,60

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

Para o cálculo por punçãoamento, “Terzaghi (1943) propõe a mesma equação da ruptura geral, no entanto, efetua uma redução empírica nos parâmetros de coesão e ângulo de atrito do solo (C e Φ), segundo Cintra e Aoki (2010). As expressões se mostram da seguinte maneira:

$$C^* = \frac{2}{3} C \quad \text{Eq. [07]}$$

$$tg \Phi^* = \frac{2}{3} tg \Phi \quad \text{Eq. [08]}$$

Onde:

- C^* = coesão do solo com redução de 2/3 de C ;
- $tg \Phi^*$ = tangente do ângulo de atrito com redução de 2/3 de $tg \Phi$.

Visto as mudanças aplicadas as variáveis, os fatores de capacidade de carga ganham novas formas, onde a nova expressão é dada por:

$$\sigma'_r = C^* \cdot N'_c \cdot S_c + q \cdot N'_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_\gamma \cdot S_\gamma \quad \text{Eq. [09]}$$

Onde:

- C^* = coesão do solo com redução de 2/3 de C ;
- N'_c , N'_q e N'_γ = fatores de capacidade de carga (Tabela 13);
- q = sobrecarga ao nível da base;
- γ = peso específico do solo;
- B = menor dimensão da sapata.

Assim, neste estudo, aplica-se o método de Terzaghi (1943) aderindo os fatores sugeridos por Vesic (1975).

7.2 CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS – FUNDAÇÕES PROFUNDAS

São dois os métodos para cálculos de fundações profundas:

- Métodos teóricos
- Métodos semi-empíricos

Estes métodos são desenvolvidos nos ensaios In-loco, onde a capacidade de carga admissível é dada pela divisão da carga total por um fator de segurança, que está entre 2 e 3 (BERBERIAN, 2017, p. 1).

7.2.1 Métodos Semi-empíricos

A princípio, este trabalho apresenta como estudo para o cálculo de capacidade carga e pré-dimensionamento de fundações profundas os métodos semi-empíricos, por serem mais precisos e seguros. A construção da pesquisa baseia-se nos métodos de:

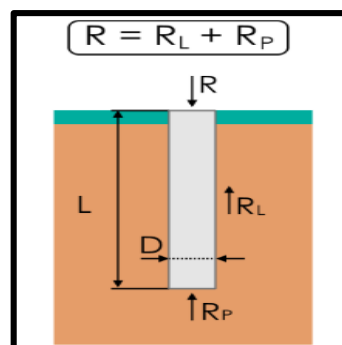
1. Aoki-Velloso (1975);
2. Décourt-Quaresma (1978);
3. Teixeira (1996).

7.2.1.1 Método de Aoki-Velloso

Em 1975, Aoki e Velloso apresentaram no Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Fundações, acontecido em Buenos Aires, um método aproximado para estimar a capacidade de carga de estacas (CINTRA; AOKI, 2010).

O método Aoki-Velloso é determinado pela soma da resistência lateral e resistência de ponta. Este método foi desenvolvido inicialmente com o uso de dados de ensaios de penetração estática CPT (cone penetration test) (CINTRA, AOKI, 2010) (Figura 28).

Figura 28 – Coeficientes Usados na Expressão – Resistência total



Fonte: Qi suporte (2019).

A resistência total é dada pela soma das equações, onde:

Resistência total (R)

$$R = R_L + R_P \quad \text{Eq. [10]}$$

- Resistência lateral (R_L)

α = razão de atrito na camada de solo;

K = coeficiente de correlação na camada de solo;

N_L = valor de N_{SPT} médio na camada de solo;

Δ_L = comprimento da estaca;

F_2 = coeficiente de correlação.

$$R_L = U \sum (r_L \Delta_L) \quad \text{Eq. [11]}$$

- Resistência de ponta (R_P)

K = coeficiente de correlação na camada do solo;

N_P = valor de N_{SPT} na base (ponta) da estaca;

A_P = área da ponta da estaca;

F_1 = coeficiente de correlação.

$$R_P = r_p \cdot A_P \quad \text{Eq. [12]}$$

Para determinação da resistência de ponta do cone (q_c) e resistência lateral na luva (f_s), usa-se fatores de correção (F_1 ou F_2) que levam em conta o comportamento entre a estaca e o cone (CPT). Onde:

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad \text{Eq. [13]}$$

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad \text{Eq. [14]}$$

Posteriormente, viu-se o grande uso dos ensaios de sondagem a percussão SPT (standard penetration test), então, foram feitas adaptações na fórmula para o uso dos dados deste ensaio, baseando-se no N_P (resistência de ponta), no N_L (resistência lateral) e a razão de atrito K (CINTRA, AOKI, 2010). Visto isso, fez-se correlações na resistência de ponta (q_c) e a resistência lateral (f_s), chegando as respectivas expressões:

$$q_c = K \cdot N_{spt} \quad \text{Eq. [15]}$$

$$f_s = \alpha \cdot q_c \longrightarrow f_s = \alpha \cdot K \cdot N_{spt} \quad \text{Eq. [16]}$$

Agora, pode-se então reescrever as expressões responsáveis pela resistência total, incluído as resistências pontuais, dadas por:

$$r_p = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \quad \text{Eq. [17]}$$

$$r_L = \frac{\alpha \cdot K \cdot N_L}{F_2} \quad \text{Eq. [18]}$$

Como $R = R_L + R_P$, então a expressão final do método é dada por:

$$R = \left(\frac{K \cdot N_p}{F_1} \right) \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \sum (\alpha K N_L \Delta L) \quad \text{Eq. [19]}$$

Os valores do coeficiente K e da razão de atrito α são dados com base o tipo de solo, já os valores dos fatores de correção dependem do tipo de estaca, como mostram as tabelas abaixo (Tabela 15 e 16).

Tabela 15 - Fatores de Correção F1 e F2 _ Aoki-Velloso (1975)

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,50	2F1
Metálica	1,75	2F1
Pré-moldada	1,75	2F1
Escavada	3,00	2F1

* $F_1 = 1 - (D/0,80)$; proposto por Aoki em 1985 para estacas pré-moldadas de pequeno diâmetro. D em metros.

Fonte: Aoki e Velloso (1975).

Tabela 16 - Coeficiente K e razão de atrito α _ Aoki-Velloso (1975)

Tipo de Solo	K (kgf/cm ²)	α (%)
Areia	10,00	1,40
Areia siltosa	8,00	2,00
Areia silto-argilosa	7,00	2,40
Areia argilosa	6,00	2,80
Areia argilo-siltosa	5,00	3,00
Silte	4,00	3,00
Silte arenoso	5,50	2,20
Silte areno-argiloso	4,50	2,80
Silte argiloso	2,30	3,40
Silte argilo-arenoso	2,50	3,00
Argila	2,00	6,00
Argila arenosa	3,50	2,40
Argila areno-siltosa	3,00	2,80
Argila siltosa	2,20	4,00
Argila silto-arenosa	3,30	3,00

1,0 Mpa = 10 kgf/cm²**Fonte:** Aoki e Velloso (1975).

Os cálculos baseiam-se na relação solo/estaca, onde todos os valores devem ser válidos e aplicados com atenção.

7.2.1.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)

O método de Décourt-Quaresma foi desenvolvido com base nos ensaios de cravação de estacas pré-moldadas e com o uso de ensaio de sondagem a percussão simples (SPT) (CINTRA, AOKI, 2010).

Assim como outros métodos, a capacidade de carga total (R) é dada pela soma da resistência de ponta (R_P) somada a resistência lateral (R_L).

$$R = R_L + R_P \quad \text{Eq. [20]}$$

Sendo a resistência de ponta e a resistência lateral dada pelas seguintes expressões:

- Resistência de ponta (R_P)

C = coeficiente em função do tipo de solo;

N_P = valor médio medido com os valores na ponta da estaca e imediatamente acima e abaixo da ponta;

A_P = área da base da estaca.

$$R_P = r_p \cdot A_P \quad \text{Eq. [21]}$$

- Resistência lateral (R_L)

N_L = valor de N_{SPT} na profundidade considerada;

U = perímetro da seção transversal do fuste;

L = comprimento da estaca.

$$R_L = r_L \cdot U \cdot L \quad \text{Eq. [22]}$$

As expressões responsáveis por complementar a definição da resistência total são dadas por:

$$r_p = C \cdot N_P \quad \text{Eq. [23]}$$

$$r_L = 10 \left(\left(\frac{N_L}{3} \right) + 1 \right) \quad \text{Eq. [24]}$$

Décourt (1982), estabelece que, “o valor de N_L para estacas pré-moldadas seja $3 \leq N_L \leq 15$ e para estacas escavadas com bentonita a resistência lateral deve-se ser $3 \leq N_L \leq 50$ ” (CINTRA, AOKI, 2010).

O coeficiente característico (C), é um valor ajustado por testes de prova de carga em estacas pré-moldadas de concreto (CINTRA, AOKI, 2010) (Tabela 17).

Tabela 17 - Coeficiente carcterístico do solo - C

Tipo de Solo	C (kPa)	C (tf/m²)
Argila	120	12
Silte argiloso*	200	20
Silte arenoso*	250	25
Areia	400	40

* alteração de rochas (solos residuais)

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki *et. al.* (2010).

Os ajustes foram criados por Décourt em 1996, onde são introduzidos fatores α e β nas parcelas de resistência de ponta e resistência lateral (CINTRA; AOKI, 2010).

Os valores propostos pelos fatores são dados em função do tipo de estaca e tipo de solo, apresentados abaixo nas seguintes tabelas (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18 - Valores do fator α

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Microestacas
Argilas	0,85	0,85	0,3*	0,85*	1,0*
Solos Intermediários	0,6	0,6	0,3*	0,6*	1,0*
Areias	0,5	0,5	0,3*	0,5*	1,0*

* valores orientados diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki et all (2010).

Tabela 19 - Valores do fator β

Tipo de Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em Geral	Escavada (bentonita)	Hélice Contínua	Raiz	Microestacas
Argilas	0,8*	0,9*	1,0*	1,5*	3,0*
Solos Intermediários	0,65*	0,75*	1,0*	1,5*	3,0*
Areias	0,5*	0,6*	1,0*	1,5*	3,0*

* valores orientados diante do reduzido número de dados disponíveis

Fonte: Adaptado de Cintra e Aoki et all (2010).

Assim, a expressão final do método é dada por:

$$R = (\alpha \cdot C \cdot A_p) + (\beta \cdot 10 \cdot \left(\frac{N_L}{3} + 1\right) \cdot U \cdot L) \quad \text{Eq. [25]}$$

7.2.1.3 Método de Teixeira (1996)

A capacidade de carga total (R) para esse método, também é dada pela expressão da soma da resistência de ponta (R_P) com a resistência lateral (R_L).

Onde:

$$R = R_L + R_P \quad \text{Eq. [26]}$$

Segundo Cintra e Aoki *et al* (2010), “Teixeira (1996) propõe uma espécie de equação unificada para a capacidade de carga, em função de dois parâmetros, α e β ”.

- Expressão da equação unificada:

$$R = R_L + R_P = (\alpha \cdot N_p \cdot A_p) + (\beta \cdot N_p \cdot U \cdot L) \quad \text{Eq. [27]}$$

Onde:

N_P = valor médio medido com os valores na ponta da estaca e imediatamente acima e abaixo da ponta;

N_L = valor médio do índice de resistência a penetração ao longo do fuste da estaca;

A_P = área da base da estaca;

U = perímetro da seção transversal do fuste;

L = comprimento da estaca;

α = parâmetro da resistência da ponta;

β = parâmetro da resistência de atrito lateral.

É estabelecido que o método não se aplique a estacas pré-moldadas de concreto em camadas de solo mole com N_{SPT} inferior a 3 (Tabelas 20 e 21).

Tabela 20 - Parâmetros α

Tipo de Solo ($4 < N_{SPT} < 40$)	Tipo de Estaca – α (kPa)			
	Pré-moldada e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160
Areia argilosa	300	240	200	190
Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: Cintra e Aoki *et al* (2010).

Tabela 21 - Parâmetro β

Tipo de Estaca	β (kPa)
Pré-moldada e Perfil metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: Cintra e Aoki *et al* (2010).

8 SOFTWARE EXCEL - PROGRAMAÇÃO

8.1 HISTÓRICO

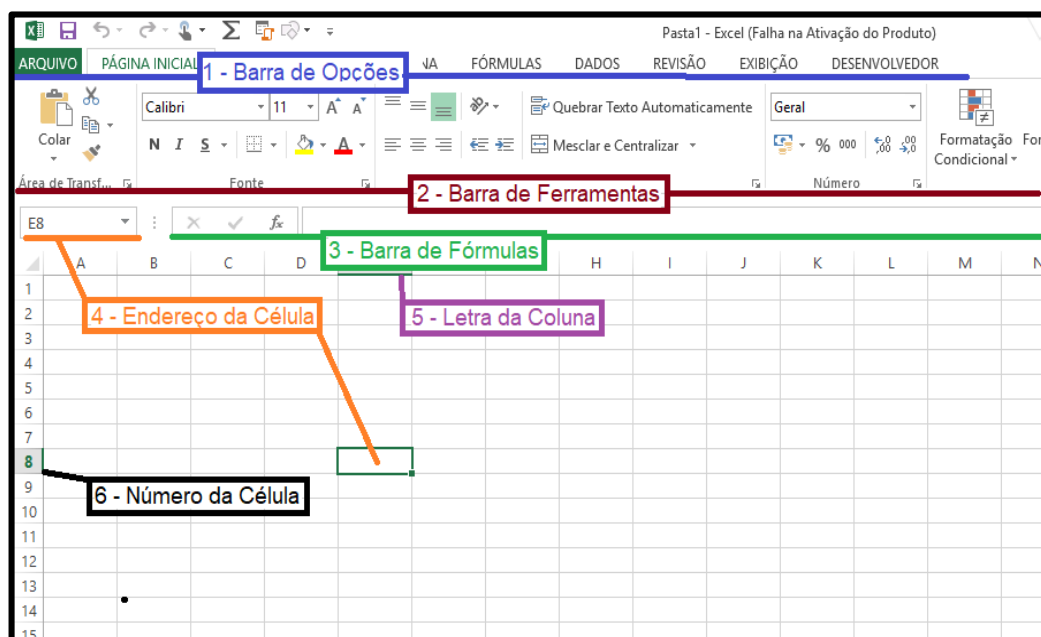
O Excel é um Software da Empresa Microsoft, também conhecido como Office Excel, desenvolvedor de planilha eletrônica, lançado no ano de 1985 na plataforma MAC da Apple. Sua primeira versão para Windows foi desenvolvida em 1987, tendo novas versões e atualizações a cada dois anos desde então (PACIEVITCH, 2019).

O Excel foi desenvolvido para fazer cálculos e criar tabelas, gráficos, desenhos, listas e infinitas outras funções. Todos os processos podem trabalhar juntos, possibilitando assim uma análise dos dados. “Este programa foi o primeiro a permitir o usuário a definir seu aspecto, como fontes, células e outros comandos” (PACIEVITCH, 2019).

Nas novas versões a partir de 2003, o Excel implantou a linguagem de programação VBA, o que beneficiou na otimização expansão das funções do programa. Com o novo implemento, surgiu a invasão de vírus na ferramenta, levando a empresa a criar antivírus para detecta-los (PACIEVITCH, 2019).

Para atender as expectativas é necessário conhecer e entender os principais comandos e aplicações do programa (Figura 29).

Figura 29 – Interface de trabalho do Excel 2013



Fonte: Adaptado pelo autor, Excel 2013 (2019).

No livro Excel Para Engenharia, Moura (2007), esclarece alguns termos

usados na ferramenta, que, quando entendidos são úteis para o uso do VBA, vejamos:

- **Aplicativo** (*Application*): Refere-se ao Excel como um todo;
- **Pastas de Trabalho** (*WorkBooks*): São arquivos com extensão xl² que contém as planilhas, folhas de gráficos e programação;
- **Planilhas** (*Worksheets*): São o segundo tipo de objetivo mais importante do Excel, sendo o conjunto de células como um todo;
- **Folhas de Gráficos** (*Charts*): São as folhas sem células que podem conter gráficos de vários formatos;
- **Células** (*Cells*): São os objetivos mais importantes do Excel. Nelas que o usuário coloca suas fórmulas, os dados e resultados. Elas podem ter funções individuais (*Cell*), coletivas (*Range*) e dispersas (*Areas*).

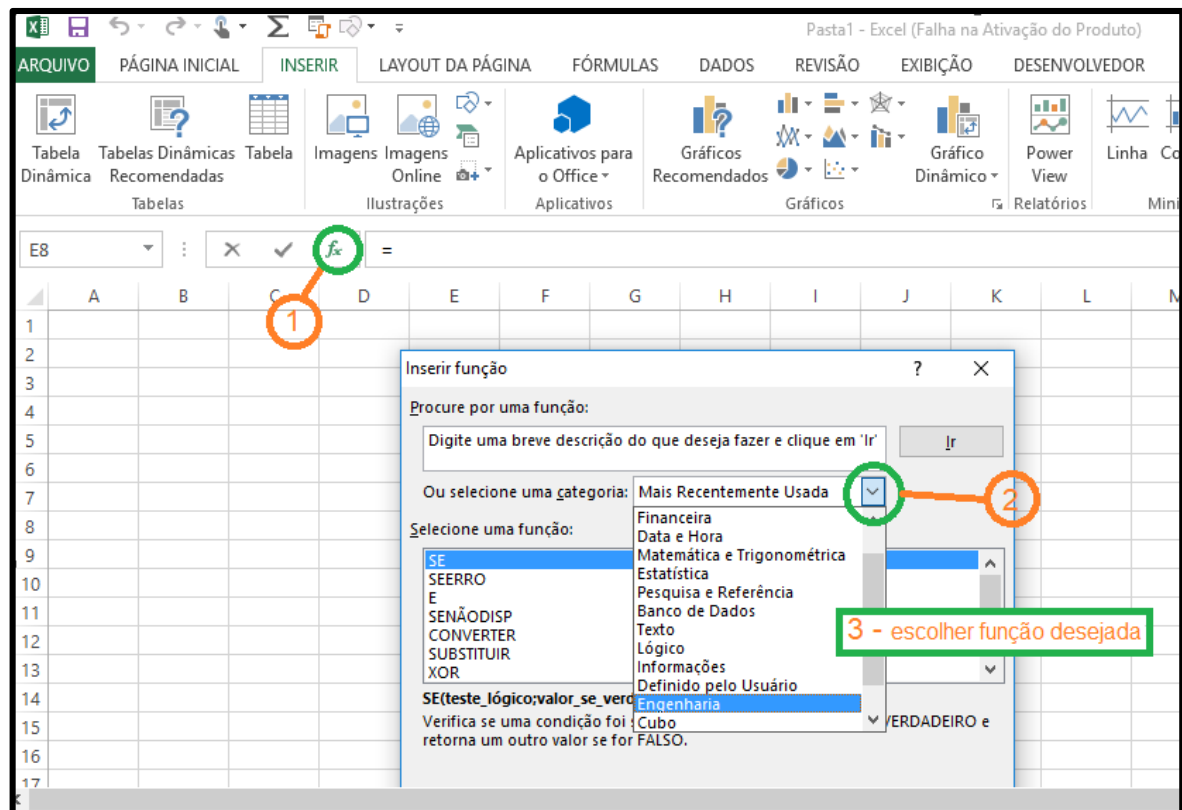
Moura (2007), também cita algumas das principais vantagens do *Excel* como sendo:

- **Disponibilidade:** Pode ser encontrada praticamente em qualquer lugar, seja na própria casa ou no trabalho;
- **Facilidade de uso:** Cálculos sofisticados, como sistema de equações não-lineares, inversão de matrizes e programação;
- **Variáveis nomeadas:** Oferece ao usuário a oportunidade de dar nomes as suas variáveis (“estacas franki”, “guincho”, “ensaio SPT”, “custo”, “k”, “5” e infinitas outras);
- **Biblioteca de funções:** Possui extensa gama de funções de engenharia, já prontas;
- **Portabilidade:** Podem ser executadas em diversas máquinas computacionais de diferentes marcas;
- **Abrangência:** Grande quantidade de programas desenvolvidos na ferramenta;
- **Simplicidade:** A inversão da matriz pode ser considerada um algoritmo clássico no ensino da programação.

8.2 FUNCIONALIDADE

A ferramenta *Excel*, disponibiliza diversas funções na sua biblioteca que facilitam na aprendizagem e uso. É importante que o usuário verifique quais as funções do banco de fórmulas que estão disponíveis, pois, a biblioteca padrão pode não estar oferecendo as mais importantes para o uso desejado (Figura 30).

Figura 30 – Funções do Excel 2013

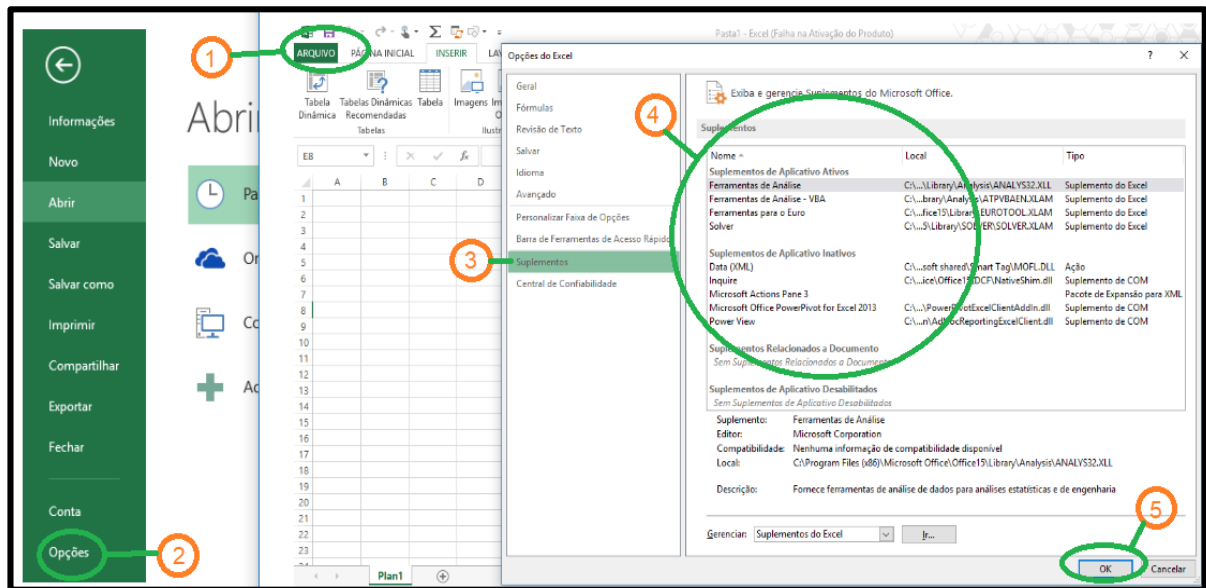


Fonte: Adaptado pelo autor, Excel 2013 (2019).

O usuário poderá inserir suas funções nas células desejadas como mostra a Figura 30, ou, caso prefira, poderá digitá-las.

Caso o usuário prefira acrescentar novas funções que não aparecem na biblioteca, deverá entrar na **Barra Arquivo**, clicar no menu **Opções**, Clicar no menu **Suplementos** e ativar **Ferramentas de Análise** (Figura 31). Neste mesmo menu **Suplementos**, existem vários outros comandos cheios de funções, a escolha fica a critério, de acordo com a necessidade do usuário.

Figura 31 - Processo para acrescentar novas funções Excel 2013



Fonte: Adaptado pelo autor, Excel 2013 (2019).

O processo para implementar novas funções podem mudar de acordo com o ano de edição da ferramenta *Excel*, logo, são mudanças mínimas que demandam a mesma lógica no seguimento.

As funções, são fundamentais para o desenvolvimento do programa e fazer interações de dados. Esta biblioteca, obtém funções divididas em vários grupos, como:

1. Financeira;
2. Data e Hora;
3. Matemática e trigonométrica;
4. Estatística;
5. Pesquisa e Referência;
6. Banco de dados;
7. Texto;
8. Lógico;
9. Informações;
10. Definido pelo usuário;
11. Engenharia;
12. Cubo;
13. Compatibilidade;
14. Web.

Em alguns casos a ferramenta poderá ter menos ou mais grupos disponíveis. A adição ou retirada desses grupos fica a critério do usuário.

Além das funções, a biblioteca do *Excel* apresenta infinitos comandos nas suas diversas guias. Estas guias de opções são os atalhos responsáveis por agrupar os comandos baseado no que o usuário deseja, como: Página inicial, Inserir, Layout da página, Fórmulas, Dados, Revisão, Exibição, Desenvolvedor, entre outros. As teclas encontradas dentro das guias são responsáveis por aplicar o comando.

Devido os infinitos comandos existentes, cita-se apenas alguns como exemplo:

1. Formatação de texto;
2. Formatação de células;
3. Tabelas;
4. Gráficos;
5. Hiperlink;
6. Formatação condicional;
7. Controles de formulário;
8. Comentário;
9. Formas geométricas;
10. Quebra de texto;
11. Mesclar células.

8.3 IMPLEMENTO DA PROGRAMAÇÃO

Para melhor interação entre células, tabelas, gráficos e outros, requer um conhecimento mais aprofundado da ferramenta *Excel* para construir novos modelos de planilhas. No âmbito de facilitar e ampliar a interação e o desempenho da ferramenta, tem-se a programação. O estudo desenvolvido, envolve dois tipos de programação: C++ e VBA. Essas, são programações que suprem as necessidades deste meio, e que, com o auxílio de tutoriais levam o programador a obter bom desempenho.

Para programar é necessário que se tenha noções básicas, caso contrário, o programador terá que dedicar mais tempo para aprender e executar comandos. A ferramenta *Excel* já obtém muitas funções lógicas determinadas, facilitando ao usuário na hora de criar interações (Figura 30).

8.3.1 Linguagem C++

A programação C++, é muito conhecida por sua grande capacidade de desenvolver complexos problemas lógicos.

O C++ possibilita grande desenvolvimento na área de softwares, como: sistemas operacionais, jogos, navegadores, editores de imagem e até mesmo sistemas de satélites usados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) (FELICIANO; LAMEGO; 1997, p. 3).

“Atualmente, C++ é muito usado devido a sua capacidade de adaptação do código ao problema, além de ser bem relacionado com várias outras bibliotecas e linguagens, desde que utilize-se solução global na resolução do problema”, Mayers (apud FELICIANO; LAMEGO; 1997, p. 3).

O atual estudo faz uso das soluções lógicas em C++ para solucionar os problemas de interação de dados na organização da ferramenta criada.

8.3.2 Linguagem VBA - MACRO

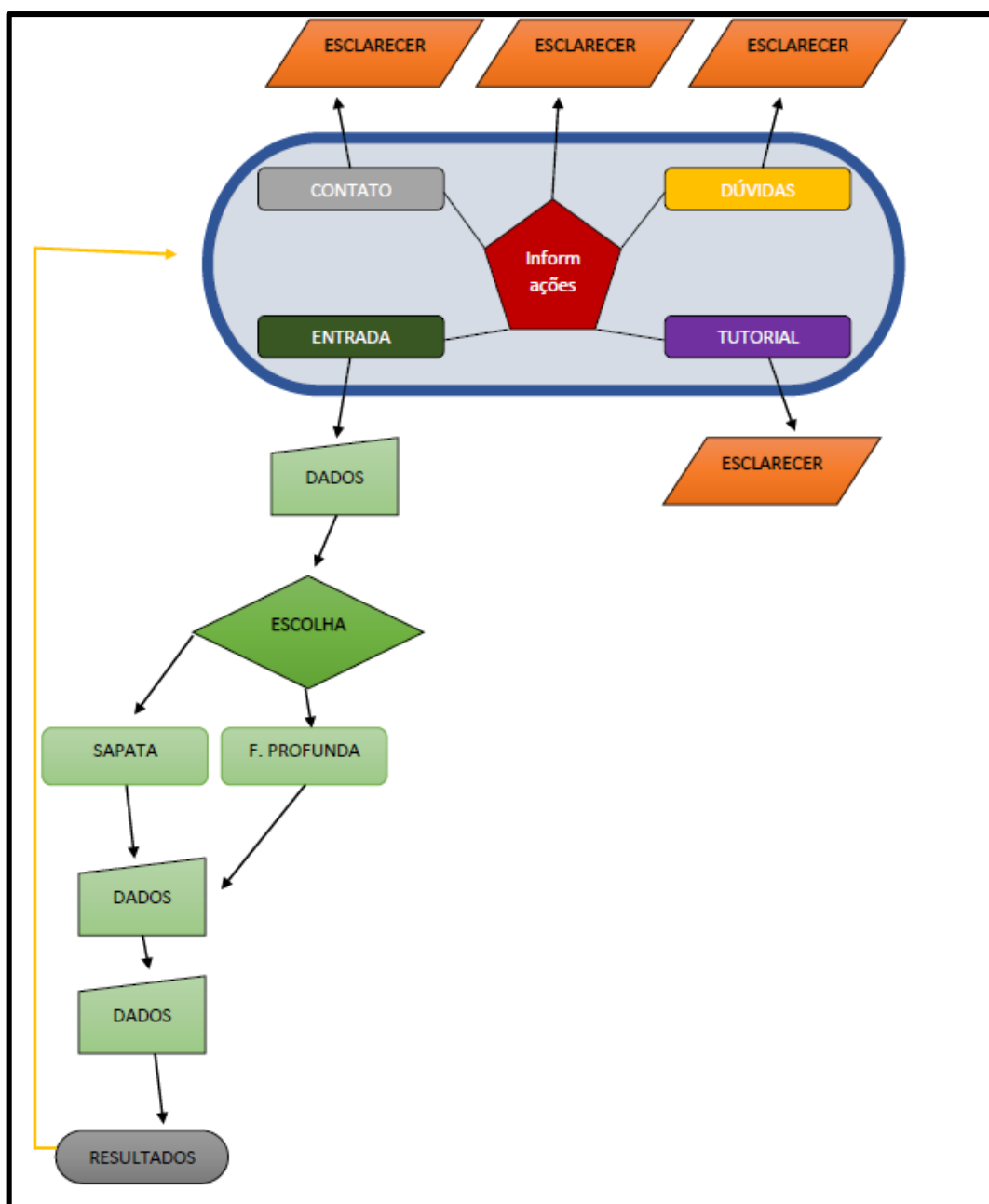
“Macro é um pequeno programa também denominado de *Rotina* que contém uma lista de instruções a realizar no *Excel*, que pode ser classificada como: Sub-rotina, Função ou Procedimento de evento”, segundo SENAC (2010).

VBA, é a linguagem designada a criar o código que o computador irá entender. É uma poderosa ferramenta criada para automatizar um conjunto de aplicações ao mesmo tempo, processando vários eventos sequencialmente (SENAC, 2010).

9 ESTUDO DE CASO – PROGRAMA DESENVOLVIDO

O estudo apresentado nesse trabalho tem a finalidade de apresentar o desenvolvimento de um programa na ferramenta *Excel 2013* com o uso da linguagem de programação C++ e VBA, capaz de dimensionar fundações profundas e superficiais. O programa é elaborado com base nas informações seguidas no fluxograma abaixo (Figura 32).

Figura 32 - Fluxograma do Programa



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

9.1 CONTEÚDO APLICADO

O elaboração do programa é baseada no auxílio de conteúdo e conhecimento aplicado ao *Excel*. Todo o processo é realizado com informações de tutoriais, específicos na áreas, implementados a ferramenta.

9.1.1 Revisão da Literatura Técnica

Este trabalho foi realizado através do intermédio de conteúdos ricos no tema escolhido. O uso de pesquisas na área designada permitiu, o bom desempenho e resultados satisfatórios na ferramenta.

Os estudos foram mediados e consumados em livros, artigos, periódicos, catálogos de empresas e técnicas no campo da informática. Estes, apresentaram fartos conteúdos capazes de suprir as abordagens do tema, tais como: software excel, fundações, ensaios geotécnicos, métodos de cálculos e capacidade de carga.

9.1.2 Métodos de Cálculo Aplicados

Os métodos aplicados são formulados conforme orientados pelos autores em suas dissertações.

Os métodos para o cálculo de capacidade de carga e pré-dimensionamento de fundações são:

- Fundações profundas:
 1. Aoki – Velloso (1975);
 2. Décourt – Quaresma (1978).

São métodos semi-empíricos, formulados com base no tipo de estaca e características do solo, dados pelo ensaio a percussão simples (SPT).

- Fundações superficiais;
 1. Terzaghi e Peck (1967) e Proposições de Vesic (1975).

Método teórico, formulado com base no tipo de sapata e características do solo, dados pelo ensaio a percussão simples (SPT).

As demais variáveis para complementar os cálculos estão presentes na ferramenta, destinadas de acordo com as necessidades de cálculo do usuário e conforme orientadas por seus pesquisadores.

9.1.2.1 Ajustes - Parâmetros do Solo

O termo ajustes, refere-se aos parâmetros do solo α e β , estabelecidos por Décourt (1996) (CINTRA; AOKI, 2010).

Os parâmetros propostos, serão interpretados nos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma na ferramenta. Ambos, serão aplicados no cálculo de resistência de ponta e resistência lateral da estaca com a finalidade de ampliar a segurança do cálculo.

9.1.3 Relatórios Geotécnicos - N_{SPT}

Os relatórios de ensaios SPT são os responsáveis pelos dados do terreno. Estes dados devem ser adicionados na ferramenta conforme solicitado.

São dados importantes para a realização dos cálculos, e sua veracidade se faz indispensável na obtenção de resultados precisos e seguros.

9.1.4 Software Excel

Entende-se que o Software Excel foi de grande significância. A facilidade e simplicidade de manuseio foram aliados na construção da ferramenta proposta.

Somar o uso da programação e das funções lógicas foi indispensável para elaborar as interações sequenciais.

9.2 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA

A elaboração do programa foi intermediada através da elaboração do fluxograma apresentado (Figura 32). Com base neste, criou-se formulários e interfaces no intuito de permitir melhor funcionalidade e leitura do usuário.

A ferramenta foi construída com comandos de orientação e legendas que levam o usuário ao que procura com maior praticidade. Todas as interfaces da ferramenta proporcionam comandos de orientação e legenda, além disso, também apresentam atalhos específicos para a interface em uso, o que melhora a interação

A sequência seguida é apresentada abaixo, em tópicos, facilitando o entendimento da implementação das equações na ferramenta *Excel*.

9.2.1 Tela Inicial

A interface inicial é o primeiro ponto de tomada de decisão da ferramenta. A escolha será decidida de acordo com a necessidade do usuário, seja uma informação buscada, seja uma entrada de dados (Figura 33).

Figura 33 - Tela Inicial da ferramenta

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A tela inicial é composta por abas, teclas no canto superior esquerdo, orientação de preenchimento e orientação dos principais seguimentos da ferramenta. As abas da ferramenta levam o usuário à todas as possíveis aplicações da ferramenta, onde as mesmas são destinadas a:

- **Entrada e Ajustes:** Leva o usuário ao preenchimento de dados pessoais junto aos dados do solicitante, caso necessário. A entrada encaminha o usuário a **escolhas do tipo de fundação** que será calculada.
- **Contatos:** Destina-se as informações de contatos que poderão ser adicionadas e/ou retiradas pelo usuário, de acordo sua vontade;
- **Dados e Dúvidas:** Página elaborada para esclarecer as principais dúvidas que poderão surgir ao longo da utilização;
- **Aplicação e Escolhas:** Trata-se da escolha do tipo de fundação que será calculada, se será profunda ou rasa;
- **Métodos:** Dirige o usuário aos dados de cada variável obtida para cada

método usado na ferramenta.

- **Relatórios:** São todos os resultados obtidos de modo organizado, podendo ser analisados em relatório completo e/ou com acúmulo de testes.
- **Salvar e Sugestões:** Este atalho, procura sugerir ao usuário informações importantes de como salvar suas aplicações e/ou resultados em PDF. Sugestões são dadas para ajudar o usuário;
- **Tabelas e Tutorial:** Mostra o caminho que toma o programa (fluxograma), buscando esclarecer a elaboração do seu corpo. Também, mostra as tabelas (variáveis) usadas na construção da ferramenta, buscando esclarecer a veracidade dos dados usados e apresentando os respectivos autores em cada caso.

9.2.2 Escolha da Fundação

A escolha do tipo de fundação que será calculada vem após o preenchimento dos dados iniciais, onde o usuário pode optar em calcular a capacidade de carga e o pré-dimensionamento para fundações profundas ou superficiais (Figura 34).

Figura 34 – Escolha do tipo de fundação a ser calculado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Caso deseje realizar os cálculos para os dois tipos, o usuário terá esta opção voltando para este ponto de escolha, e então poderá definir o novo caminho de cálculo.

9.2.3 Dados Geotécnicos e Complementares

9.2.3.1 Dados Geotécnicos e Complementares para Fundações Profundas

A escolha direcionada a fundação profunda leva o operador da ferramenta ao cálculo de estacas. Nesta fase da ferramenta, pede-se que o usuário informe os dados geotécnicos do ensaio SPT, dados do projeto e do cliente.

Os principais dados pedidos são: N_{SPT} , composição do solo a cada metro (dado no SPT), nível da água no solo, profundidade de assentamento da estaca (suposta), carga aplicada no pilar (referido no mesmo ponto do ensaio), número de pilares da obra e o número do pilar a ser calculado. Os demais dados são complementares, visto que os cálculos não necessariamente serão sempre destinados a um cliente.

Preencher os campos com os dados solicitados são essenciais para o cálculo da capacidade de carga e o pré-dimensionamento da fundação escolhida (Figura 35).

Figura 35 - Dados geotécnicos e de projeto – estacas

Cálculo de Fundações - Dados Geotécnicos e de Projeto

DADOS COMPLEMENTARES

CARGA APLICADA NO PILAR (KN): 1200

NÚMERO DO PILAR: 4

NÚMERO DE PILARES DA EDIFICAÇÃO: 13

NOME: FÁBIO PEREIRA

OBRA: EDIFÍCIO

ENDEREÇO: RUA XXXXXXXX

E-MAIL: nomedoemail@xmail.com

CONTATO: (84) 90000-0000

DADOS GEOTÉCNICOS

Profundidade (m)	Nspt	Composição	Estaca	N. A.	Assentamento (m)
1	2	Areia siltilosa	1	NÃO	16
2	4	Areia siltilosa	2		
3	6	Areia siltilosa	3		
4	6	Areia siltilosa	4		
5	6	Areia siltilosa	5		
6	8	Areia siltilosa	6		
7	13	Areia argilosa	7		
8	12	Areia argilosa	8		
9	16	Areia argilosa	9		
10	15	Areia argilosa	10		
11	14	Areia argilosa	11		
12	16	Areia argilosa	12		
13	15	Areia argilosa	13		
14	18	Areia argilosa	14		
15	29	Areia argilosa	15		
16	38	Areia argilosa	16		
17	38	Areia argilosa	17		
18	39	Areia argilosa	18		
19	39	Areia argilosa	19		
20	42	Areia argilosa	20		
21			21		

Visualização gráfica: CARGA 1200 KN, PILAR 4, EXEMPLO - MODELO FUND. PROF.

Botão: AVANÇAR

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após concluir o preenchimento solicitado na ferramenta, o operador deve seguir na tecla avançar a fim de concluir o teste.

9.2.3.1.1 Ajustes de Décourt (1996) para Fundações Profundas

Para concluir o cálculo de estacas, o operador da ferramenta deve selecionar informações dadas e também preencher nos campos que aparecem nesta interface (Figura 36).

Figura 36 – Dados e ajustes da fundação de acordo com a estaca e o solo

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Pede-se que o usuário preencha os seguintes campos referidos à estaca: tipo de estaca, diâmetro e fator de segurança (sugere-se o fator de segurança = 2).

Enquanto aos ajustes para cálculo, é importante ter cuidado para preenchimento. Pede-se que o usuário selecione o tipo de solo de acordo com os dados do ensaio geotécnico e, posteriormente, informe o tipo de estaca escolhido.

9.2.3.2 Dados Geotécnicos e Complementares para Fundações Superficiais

Quando o operador escolhe calcular este tipo de fundação, deve-se ter conhecimentos básicos para implementar alguns dados pedidos com coerência e adequação ao projeto.

Os principais dados solicitados são: modelo, coeficientes de ponderação, dados de projeto e informações complementares do método para definir o cálculo (Figuras 37 e 38).

Figura 37 - Dados geotécnicos e de projeto - sapatas

Cálculo de Fundações - Dados da Fundação

DADOS GEOTÉCNICOS E DO MODELO DE SAPATA

Profundidade (m)	N _{spt}	Tipo de solo	Qualidade	N.A.	CARGA P (kN)	γ_q (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	ϕ °	C (KPa)	q (KPa)
1	15	ARGILA	PURA	NÃO	1200	19	19	19	0,00	150	19
2	18	AREIA	PURA	NÃO		17	20	17	35,20	0	34
3	30	AREIA	PURA	NÃO		17	21	17	40,00	0	51

PROJETO

CARGA APLICADA NO PILAR (KN): 1200

NÚMERO DO PILAR: 4

NÚMERO DE PILARES DA EDIFICAÇÃO: 13

CLIENTE

NOME: _____

OBRA: _____

ENDEREÇO: _____

E-MAIL: _____

CONTATO: _____

LIMPAR

AVANÇAR

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 38 - Dados complementares e saída de resultados da aplicação

Cálculo de Fundações - Dados da Fundação

DADOS PARA CÁLCULO

TIPO DE SAPATA	BASE (m)	LARGURA (m)	ASSENTAMENTO (m)	MODOS DE RUPTURA	ALTURA H' (cm)
QUADRADA	2	2	1	GERAL	10

CARGA P (kN)	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)	ALTURA H (m)	Peso Próprio Aprox.	ÁREA PROPOSTA	$\sigma_s \leq \sigma_a$
1200	4	1,2	0,6	29,42 kN	3,92 m ²	OK!

γ (kN/m ³)	ϕ °	C (KPa)	q (KPa)	Sc	Sq	Sy	Nc	Nq	Ny
19	0	150	19	1,19	1,00	0,60	5,14	1,00	0,00

γ (kN/m ³)	ϕ °	C* (KPa)	q (KPa)	Sc'	Sq'	Sy'	Nc'	Nq'	Ny'
19	0	100	19	1,19	1,00	0,60	5,14	1,00	0,00

SAÍDA DE RESULTADOS

$\sigma_s = 307,35 \text{ kN/m}^2$

$\sigma_r = 940,00 \text{ kN/m}^2$

$\sigma_s = 313,33 \text{ kN/m}^2$

AVANÇAR

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

9.2.4 Relatório Final

O relatório final envolve todas as informações lançadas no seguimento da ferramenta e os cálculos desenvolvidos de acordo com os dados implementados. Dessa forma, são mostrados, de forma mais ampla os principais resultados processados. Além disso, procura-se mostrar estes valores com clareza a ponto do entendimento do leitor.

Os dados apresentados podem ser alterados pelo usuário até que atenda suas expectativas, com base em modificações de métodos ou dados fornecidos. O

usuário poderá realizar infinitas estimativas e estipular através desses dados, a que melhor se adequa ao seu projeto (Figuras 39 e 40).

Figura 39 – Relatório final de fundações profundas

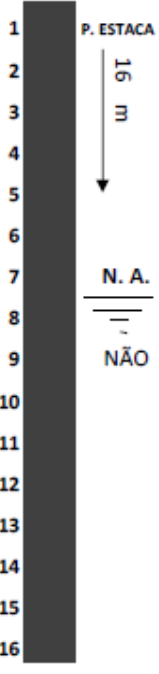
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 40 - Relatório final de fundações superficiais

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os comandos apresentados contêm meios que possibilitam a modificação de informações e métodos para obtenção de novos valores, logo, se os valores obtidos estiverem como esperado pede-se apenas que finalize o teste de capacidade de carga e pré-dimensionamento salvando as alterações realizadas ou imprimindo o relatório final como mostra o modelo abaixo (Figura 41).

Figura 41 - Modelo de folha de impressão do relatório final

RELATÓRIO FINAL CAPACIDADE DE CARGA				
DADOS PESSOAIS	EMPRESA/UNIVERSIDADE: UNI-RN			
	TÍTULO DO PROJETO: FERRAMENTA PARA CÁLCULO DE FUNDAÇÕES			
	PROFISSIONAL/ALUNO: ÁLISON JOAB PINHEIRO ARRAES			
	CARGO/CURSO:		CONTATO: 84900000000	
	CIDADE: NATAL		ESTADO: RN	DATA: 13/05/2019
	PERÍODO/SEMESTRE: 2º semestre		CNPJ: NÃO TEM	
CLIENTE	CLIENTE: FÁBIO PEREIRA			
	OBRA: EDIFÍCIO		CONTATO: 84900000000	
	E-MAIL: nomedoemail@xmail.com		ENDEREÇO: RUA XXXXXXXX	
DADOS PROJ.	N. ÁGUA: NÃO	d (cm): 0	TIPO: Escavada	ASSENTAMENTO (m): 16
	MÉTODO:	ENSAIO GEOT.	CARGA ADMISSÍVEL (kN)	NO PONTO: 0 / 0
CAMADAS DO SOLO A CADA METRO DE PROFUNDIDADE	AOKI-VELLOSO (1975)	DADOS Nspt (KN)	CARGA ADM (KN)	0,00 KN ↓ 0 cm
		0 10 20 30 40 50	0,00 500,00 1000,00 1500,00	
	Areia siltosa	10	1 0,00	1
	Areia siltosa	20	2 0,00	2
	Areia siltosa	30	3 0,00	3
	Areia siltosa	40	4 0,00	4
	Areia siltosa	50	5 0,00	5
	Areia siltosa	60	6 0,00	6
	Areia argilosa	70	7 0,00	7
	Areia argilosa	80	8 0,00	8
	Areia argilosa	90	9 0,00	9
	Areia argilosa	100	10 0,00	10
	Areia argilosa	110	11 0,00	11
	Areia argilosa	120	12 0,00	12
	Areia argilosa	130	13 0,00	13
	Areia argilosa	140	14 0,00	14
	Areia argilosa	150	15 0,00	15
	Areia argilosa	160	16 0,00	16
	Areia argilosa	170	17 0,00	17
	Areia argilosa	180	18 0,00	18
	Areia argilosa	190	19 0,00	19
Areia argilosa	200	20 0,00	20	
				

Fonte: Elaborado pelo autor, Excel 2013 (2019).

O modelo de impressão é similar para ambos os métodos e tipos de fundações, havendo apenas mudanças simples no fornecimento das principais informações resultadas e nos modelos (desenhos).

9.3 OBSERVAÇÕES PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DESENVOLVIDA

A ferramenta apresenta pontos importantes a serem compreendidos e atendidos corretamente.

Com o intuito de minimizar ou até mesmo erradicar os possíveis erros foram feitas algumas observações tais como:

- 1. Legenda:** O usuário da ferramenta deverá estar atento aos pontos importantes nomeados ao longo do processo. Deve-se ter conhecimento no tema para que variáveis importantes não deixem de ser preenchidas ou preenchidas de modo errado;
- 2. Roteiro e orientação de cálculo:** Orienta o usuário da ferramenta no preenchimento dos campos;
- 3. Aba de dúvidas:** Tira as principais dúvidas levantadas na aplicação da ferramenta;
- 4. Campos explicativos:** São campos compostos por legendas explicativas;
- 5. Comentários:** Com o intuito de orientar, foram colocados comentários nos principais pontos e/ou destaques dos métodos. É importante que estes sejam lidos e seguidos;
- 6. Pré-dimensionamento:** Destaca-se que a ferramenta permanecerá em ampliação e adaptações que acrescentem melhores resultados e mais opções. Além disso, vale salientar que a ferramenta está disposta apenas a realizar um pré-dimensionamento, não incluindo o dimensionamento das armaduras dos elementos de fundações, entretanto, com os valores encontrados na ferramenta torna-se mais fácil a obtenção dos demais ausentes.

10 RESULTADOS E DISCUSSÕES

10.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ELABORADA

A ferramenta desenvolvida está disponível para a realização de cálculo de fundações superficiais e profundas.

Para elaborar uma aplicação são necessários dados geotécnicos e de projeto de acordo com o tipo de fundação escolhido, caso pretenda-se apenas testar, pede-se que os valores sejam verídicos coerentes, para que saiam resultados adequados.

10.1.1 Fundações Superficiais

Para testar a aplicação da ferramenta no cálculo de capacidade de carga e pré-dimensionamento de sapatas, usou-se dados geotécnicos e de projeto, ambos aplicados no modo de ruptura geral (Tabela 22).

Tabela 22 - Dados aplicados no cálculo de sapata

Cota (m)	Solo	Nspt (KN)	Tipo de sapata	Ruptura	Carga (KN)	B = L (m)
1	Areia pura	6	Quadrada	Geral	2200	4
2		7				

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os resultados são apresentados em resumo, e percebe-se que a carga admissível aplicada está muito abaixo da que o solo resiste, o que permite diminuir a dimensão da sapata e realizar um novo teste (Tabela 23).

Tabela 23 - Resultados para sapata

Tipo de Sapata	Base	Largura	Carga (KN)	σ_{adm} (solo) kN/m ²	σ_{adm} (aplicada) kN/m ²
Quadrada	4	4	2270,3	478,07	141,89

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

10.1.2 Fundações Profundas

Para elaborar uma aplicação é necessário dados geotécnicos e de projeto, logo, com base no estudo e em algumas aplicações, valores foram estipulados de modo coerente com a realidade (Quadro 1).

Quadro 1 - Dados para aplicação

Profundidade (m)	N _{SPT}	Camada do solo	Nível da Água	Cota (m)	Carga Ap. (kN)	Nº de pilares da obra	Nº do pilar	Tipo da estaca	Diâmetro (cm)
1	2	Areia Siltosa	Não	16	1220	13	4	Escavada	40
2	4	Areia Siltosa							
3	6	Areia Siltosa							
4	6	Areia Siltosa							
5	6	Areia Siltosa							
6	8	Areia Siltosa							
7	13	Areia							
8	12	Areia							
9	16	Areia							
10	15	Areia							
11	14	Areia							
12	16	Areia							
13	15	Areia							
14	18	Areia							
15	29	Areia							
16	38	Areia							
17	38	Areia							
18	38	Areia							
19	39	Areia							
20	42	Areia							

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Vale lembrar, que estes mesmos valores serão usados para a validação de dados, para que seja verificado se há compatibilidade nos resultados apresentados.

Os dados de entrada (pessoais e do cliente) serão adicionados de forma aleatória apenas para o preenchimentos dos campos.

Estes dados, foram aplicados para todos os métodos e validados através de comparativos com outras aplicações de estudos no âmbito. A aplicação dos dados no

Quadro 1 permitiram chegar a resultados precisos e seguras para os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), os quais foram implementados na ferramenta (Tabelas 24 e 25) (Figura 42).

Tabela 24 - Resultado para o método de Aoki-Velloso (1975)

Tipo de Estaca	Assentamento (m)	Diâmetro (cm)	Nível da Água	Carga (kN)	σ_{adm} (estaca) kN
Escavada	14	45	Não	1200	299,47

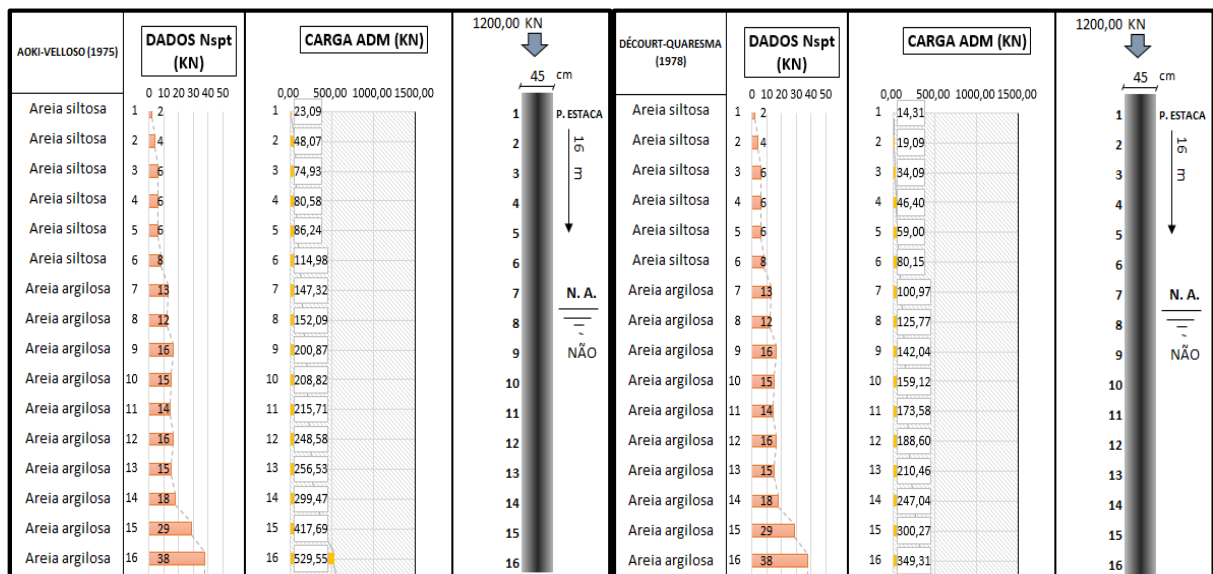
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 25 – Resultado para o método de Décourt-Quaresma (1978)

Tipo de Estaca	Assentamento (m)	Diâmetro (cm)	Nível da Água	Carga (kN)	σ_{adm} (estaca) kN
Escavada	14	45	Não	1200	247,04

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 42 - Adaptação dos resultados obtidos na ferramenta para Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978)



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

10.2 VALIDAÇÃO DE DADOS DA FERRAMENTA

O dados deste trabalho foram analisados com base em resultados obtidos com a aplicação das informações fornecidas no Quadro 1 em outras planilhas.

No âmbito de validar os resultados, verificou-se a dispersão e aproximação de valores na comparação. Os métodos e variáveis são iguais, por isso usou-se o estudo

de Ferreira, Delalibera e Silva (2019), que desenvolveram uma planilha capaz de realizar a comparação dos resultados (Figuras 43 e 44).

Figura 43 - Resultados de Aoki-Velloso (1975) para comparação

MÉTODO AOKI VELLOSO (1975)									
Dados do Cálculo									
Estaca	Tipo		Diâmetro (cm)		Comp. (m)		F.S (Global)		
Moldada in-loco	Escavada		45		16		2		
% Resistência de ponta			% Resistência lateral						
50			50						
RESULTADOS									
Profundidade (m)	K (kPa)	α	F1	F2	R _P na camada (kN)	R _L por metro (kN)	R _L acumulada (kN)	R Total do solo (kN)	P _{Adm} (kN)
1	800	0,02	3	6	42,41	3,77	3,77	46,18	23,09
2	800	0,02	3	6	84,82	7,54	11,31	96,13	48,07
3	800	0,02	3	6	127,23	11,31	22,62	149,85	74,93
4	800	0,02	3	6	127,23	11,31	33,93	161,16	80,58
5	800	0,02	3	6	127,23	11,31	45,24	172,47	86,24
6	800	0,02	3	6	169,65	15,08	60,32	229,96	114,98
7	600	0,03	3	6	206,76	27,57	87,89	294,64	147,32
8	600	0,03	3	6	190,85	25,45	113,33	304,18	152,09
9	600	0,03	3	6	254,47	33,93	147,26	401,73	200,87
10	600	0,03	3	6	238,56	31,81	179,07	417,64	208,82
11	600	0,03	3	6	222,66	29,69	208,76	431,42	215,71
12	600	0,03	3	6	254,47	33,93	242,69	497,16	248,58
13	600	0,03	3	6	238,56	31,81	274,50	513,06	256,53
14	600	0,03	3	6	286,28	38,17	312,67	598,94	299,47

Fonte: Ferreira; Delalibera; Silva (2014).

Figura 44 - Resultados de Décourt-Quaresma (1978) para comparação

MÉTODO DECÓURT QUARESMA (1978)										
DADOS PARA CÁLCULO										
Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Ap (m²)	U (m)	Comprimento (m)					
Moldada in-loco	Escavada	45	0,1590	1,414	16					
AJUSTES DO MÉTODO DÉCOURT-QUARESMA										
Coef. Solo (kPa)		% Resistência de ponta (α)		% Resistência lateral (β)						
Variável de acordo com o Solo*		50		50						
RESULTADOS										
Profundidade (m)	N _p	N _l	α (%)	β (%)	Coef. solo	R _p (kN)	R _l (kN)	R _l acumulada (kN)	R Total (kN)	P Adm (kN)
1	3,00	3,00	0,60	0,65	400,00	57,26	9,19	0,00	57,26	14,31
2	4,00	3,50	0,60	0,65	400,00	76,34	9,95	0,00	76,34	19,09
3	5,33	4,33	0,60	0,65	400,00	101,79	11,23	11,23	113,02	34,09
4	6,00	4,75	0,60	0,65	400,00	114,51	11,87	23,10	137,61	46,40
5	6,67	5,00	0,60	0,65	400,00	127,23	12,25	35,35	162,59	59,00
6	9,00	5,50	0,60	0,65	400,00	171,77	13,02	48,37	220,14	80,15
7	11,00	6,57	0,60	0,65	400,00	209,94	14,66	63,03	272,97	100,97
8	13,67	7,25	0,60	0,65	400,00	260,83	15,70	78,73	339,56	125,77
9	14,33	8,11	0,60	0,65	400,00	273,55	17,02	95,74	369,30	142,04
10	15,00	8,80	0,60	0,65	400,00	286,28	18,07	113,82	400,09	159,12
11	15,00	9,27	0,60	0,65	400,00	286,28	18,80	132,61	418,89	173,58
12	15,00	9,75	0,60	0,65	400,00	286,28	19,53	152,14	438,42	188,60
13	16,33	10,15	0,60	0,65	400,00	311,72	20,15	172,29	484,01	210,46
14	20,67	10,50	0,60	0,65	400,00	394,43	20,68	192,96	587,39	247,04

Fonte: Ferreira; Delalibera; Silva (2014).

Com base nas análises feitas entre estes resultados e os resultados apresentados pela ferramenta, percebe-se que estão coerentes e precisos, apresentando diferenças mínimas nos resultados. Os resultados de sapatas foram analisados com base nas pesquisas desenvolvidas por Cintra e Aoki (2010), onde os resultados são satisfatórios e suprem as necessidades da pesquisa desenvolvida.

11 CONCLUSÕES

Considerando todos os dados apresentados na estrutura deste trabalho, pode-se averiguar resultados satisfatórios e seguros nos cálculos aplicados. Como relatado com frequência, a engenharia civil é cercada por *softwares* que auxiliam na realização de projetos, orçamentos, gerenciamento, entre outros. O mercado é rico em ferramentas, porém, possuem custos elevados. Portanto, considerando o desempenho adquirido pela ferramenta desenvolvida, conclui-se que sua utilização é cabível na área de fundações. Desta forma, destaca-se o uso de uma ferramenta de baixo custo, que pode ser elaborada para cálculos específicos com eficiência e segurança.

A ferramenta demonstra atender de forma satisfatória aos requisitos questionados, deixando em aberto o seguimento de ampliação e aperfeiçoamento. Além de uso próprio, conclui-se também que de acordo com o formato e elaboração, a ferramenta pode ser disponibilizada para outras plataformas e seguir em uso.

O pré-dimensionamento gerado pela ferramenta não inclui o dimensionamento da área de aço dos elementos de concreto das fundações, o que pode ser implementado posteriormente. No entanto, pode-se destacar as demais aplicações que a ferramenta está apta a realizar, como: o dimensionamento dos elementos de concreto (estacas e sapatas) e a carga admissível. Estas aplicações possibilitam ao usuário dados importantes que o fazem estar ciente na escolha do modelo e tipo de fundação que poderá utilizar de acordo com o solo e esforços solicitantes. A elaboração da ferramenta contou com detalhes capazes de direcionar o usuário corretamente e assegurar a saída de resultados válidos, proporcionando maior segurança no seu uso.

A validação de dados mostrou a ferramenta apta para uso, onde a comparação de dados manifesta-se com êxito na sua finalidade. O uso do Excel para elaborar ferramentas de uso na engenharia civil mostrou-se um potencial, quando relata-se baixo custo, facilidade e simplicidade no seu manuseio. Portanto, confirma-se que os resultados positivos obtidos são capazes de satisfazer todos os pontos levantados no decorrer do trabalho.

REFERÊNCIAS

AOKI, Nelson; VELLOSO, Dirceu de Alencar. **An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles.** In: **PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING**, 5. 1975, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires: 1975. V.1. p.367-376.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12069**: Solo - Ensaio de Penetração do cone in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de fundações**. 3. ed. 2017.

CINTRA, José Carlos da; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. 1 ed. Oficina de Textos, 2010.

CONCRETA: tecnologia em engenharia. Disponível em: <<https://www.concreta.com.br/area-de-atuacao/investigacoes-geotecnicas.html>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

COSTA, Eduardo Carvalho da. **Aplicação de software para cálculo da capacidade de carga de fundações profundas**. Alegrete: 2015.106 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

EBAH. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgfkwAJ/msii-relatorio-spt>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

ENGENHEIRO DE CUSTOS. Disponível em: <<http://engenheirodecustos.com.br/planalha-de-orcamento-de-obra/>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

ESCOLA ENGENHARIA. Disponível em:
<<https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-helice-continua/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ESCOLA ENGENHARIA. Disponível em:
<<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

FELICIANO, Patrícia; LAMEGO, Guilherme Cesar. **Linguagem de programação c++**. 18 f. Artigo.

FERREIRA, Tobias Ribeiro; DELALIBERA, Rodrigo Gustavo; SILVA, Wellington Andrade da. **Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas**. Catalão: 2014. 13 f. Artigo – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014.

FXSONDAGENS. Disponível em: <http://www.fxsondagens.com.br/estaca-strauss>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

GEOSTRAUSS: fundações da amazônia. Disponível em:
<<http://geostrauss.com.br/?page=servicos>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

GERDAU. Disponível em: <<https://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

INFRAESTRUTURA URBANA: projetos, custos e construção. Disponível em:
<<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/42/solucoes-tecnicas-estacas-franki-326396-1.aspx>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

PACIEVITCH, Yuri. Excel. Disponível em:
<<https://www.infoescola.com/informatica/excel/>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

MICROSOFT (Excel). Disponível em:
<https://www.microsoft.com/ptbr/p/excel/cfq7ttc0k7dx?&OCID=AID737190_SEM_Cij7Us2W&MarinID=sCij7Us2W|332876303199|%2Bexcel|b|c|60324461509|kwd715492038&lnkd=Google_O365SMB_Mixed&gclid=Cj0KCQjwpsLkBRDpARIsAKoYl8znrMgINvlpqewt0kH5jS2YzA1iUhdOxawBMreKSdIOP4CIFgA4UaAp4OEALw_wcB>. Acesso em: 19 mar. 2019.

QI SUPORTE. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115002187574-Estimativa-da-capacidade-de-carga-das-estacas-com->

base-no-SPT>. Acesso em: 22 fev. 2019.

REFORM, reparos e reformas. Disponível em: <https://reformweb.com.br/blog/post/12/Funda%C3%A7%C3%B5es%3A-Tipos-e-Aplica%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SENAC-RS. **Programação VBA para excel**. Porto Alegre 2010.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. Concepção de obras de fundações. In: HACHICH et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 1998.

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

TRABALHO DE FUNDAÇÕES. Disponível em: <https://sites.google.com/site/trabalhodefundacoes20082/%C3%BAltimas-visitas>>. Acesso em: 19 fev. 2019.