



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ELIAS FRUTUOSO DO NASCIMENTO FILHO**

**AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E DA TENSÃO  
ADMISSÍVEL DO SOLO PARA DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS**

Caruaru

2018

**ELIAS FRUTUOSO DO NASCIMENTO FILHO**

**AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E DA TENSÃO  
ADMISSÍVEL DO SOLO PARA DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Campos Acadêmico do Agreste, como parte dos requisitos para adquirir o título de Engenheiro Civil

Área de Concentração: Geotecnia

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.(a) Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello**

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

N244a Nascimento Filho, Elias Frutuoso.  
Automatização do cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível do solo para dimensionamento de sapatas isoladas. / Elias Frutuoso do Nascimento Filho. – 2018.  
73 f. il. : 30 cm.

Orientadora: Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.  
Inclui Referências.

1. Fundações. 2. Mecânica do solo. 3. Engenharia Civil. I. Bello, Maria Isabela Marques da Cunha Vieira (Orientadora). II. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2018-348)

**ELIAS FRUTUOSO DO NASCIMENTO FILHO**

**AUTOMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E DA TENSÃO  
ADMISSÍVEL DO SOLO PARA DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Campos Acadêmico do Agreste, como parte dos requisitos para adquirir o título de Engenheiro Civil

Área de Concentração: Geotecnia

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato  
ELIAS FRUTUOSO DO NASCIMENTO FILHO aprovado com NOTA\_\_\_\_\_

Caruaru, 20 de dezembro de 2018.

**Banca examinadora:**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello\_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Prof<sup>a</sup>. Dra. Leila Brunet de Sá Bezerra \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Engenheiro Civil Me. Yago Ryan Pinheiro dos Santos\_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos\_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de estudar em uma grande instituição, por me conceder sabedoria e força para lidar com as decisões ao longo do curso e pelo sustento da sua graça para a realização deste trabalho, com o qual adquiri conhecimento para minha vida profissional e acadêmica.

Agradeço a minha mãe, Edilene Maciel, por todo investimento educacional, por sempre estar presente me incentivando a ir mais além, ao meu pai Elias Frutuoso, por ser um suporte e referência de homem e cidadão, por estar ao meu lado sempre me colocando de pé quando os problemas chegavam, por todo amor e cuidado.

Agradeço a meus irmãos, Jônatas e Jaderson, que além de todo apoio, são referências como profissionais da Engenharia sempre estando presente em todas as minhas necessidades.

Agradeço a minha noiva, Taiane Gouveia, por estar ao meu lado desde o início do curso me incentivando e sendo minha ajudadora em todos os momentos que passei ao longo do curso, com a qual compartilhei cada etapa dessa jornada, seja nos momentos de alegria como nos de tristeza.

Agradeço a minha orientadora, Professora Dr.(a). Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello, pela paciência e por toda ajuda na realização deste trabalho, me ensinando lições que vão além da sala de aula.

Agradeço a cada professor que contribui de forma direta ou indireta para a minha formação e que me incentivou e acreditou no meu potencial.

Agradeço aos amigos de curso, especialmente Emerson Thiago, Rivaldo Soares, Yhago Carvalho, Sergio Manoel, Raimundo Paulo, Arthur Pinheiro, Gisele oliveira e Emanuel Marques, pelo companheirismo, amizade e momentos de descontração de nossa vida acadêmica.

## RESUMO

Por traz de grandes obras da engenharia civil em que se presa estabilidade e segurança, se destaca um bom projeto de fundações, cujos elementos estruturais (fundações) são bem dimensionados quanto aos aspectos geotécnicos. Para que o dimensionamento geotécnico de fundações seja realizado de forma adequada, é preciso ter conhecimento de parâmetros do solo que denunciem suas características. Um destes parâmetros é tensão admissível que pode ser obtida indiretamente a partir do cálculo da capacidade de carga, ou diretamente por meio de métodos semiempíricos. Visando alcançar resultados preciso e coerentes, um conjunto de planilhas eletrônicas programadas foram desenvolvidas neste trabalho a partir do Microsoft Excel por intermédio da linguagem de programação VBA (Visual basic for application), com a proposta de realizar o cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível direta ou indiretamente para fundações em sapatas. Para a funcionalidade das planilhas, dados de entrada foram inseridos, com: ângulo de atrito, coesão, peso específico, nível d'água, dentre outros, que em conjunto determinam uma estimativa de cálculo. Os cálculos são gerados perante métodos consagrados na literatura técnica, levando em consideração dois casos fictícios: (1) sapata quadrada com variação da cota de assentamento, profundidades de 1m, 3m e 5m e (2) sapata quadrada com variação do nível freático, profundidade 5m, 7m e 1m. Foram consideradas cargas centradas. Os resultados obtidos foram comparados graficamente entre si, comprovando que aplicabilidade do programa é algo destacável e que seu uso proporciona resultados rápidos e coerentes. No primeiro cenário do estudo os resultados alcançados para os métodos teóricos se mostraram semelhantes com um aumento do valor da tensão admissível. A medida em que a cota de assentamento se aproxima da camada impenetrável. Para os métodos semiempíricos os valores se mantem iguais independente da mudança de profundidade, uma vez que para o problema proposto tem-se uma única camada de areia compacta de  $N_{spt} = 30$ . No segundo caso foi possível perceber uma redução considerável da tensão admissível o que pode influenciar diretamente no dimensionamento da fundação para esta circunstância. Atendendo a esta circunstância, este trabalho mostra-se eficiente ao proporcionar redução nos erros envolvidos nos cálculos dos parâmetros do solo, otimizando os resultados e permitindo a tomada de decisões segura e econômica.

**PALAVRAS - CHAVE:** Capacidade de Carga, Tensão admissível, Métodos teóricos, Métodos semiempíricos, VBA.

## ABSTRACT

Behind major civil engineering works in which stability and security are attached, a good foundation design stands out, whose structural elements (foundations) are well dimensioned as far as geotechnical aspects are concerned. In order for the geotechnical dimensioning of foundations to be adequately performed, it is necessary to be aware of soil parameters that denote their characteristics. One of these parameters is the allowable bearing capacity that can be obtained indirectly from the calculation of the bearing capacity, or directly by semiempirical methods. In order to achieve precise and coherent results, a set of electronic and programmed spreadsheets were developed in this work from Microsoft Excel through the Visual Basic for Application (VBA) programming language, with the proposal of calculating the load capacity and permissible stress directly or indirectly for footings. For the functionality of the spreadsheets, input data were inserted, with: friction angle, cohesion, specific weight, water level, among others, which together determine an estimate of calculation. The calculations are generated according to methods established in the technical literature, taking into account two fictitious scenarios: (1) square shoe with variation of the settlement level, depths of 1m, 3m and 5m and (2) square footings with water level variation, depth 5m, 7m and 1m. Centered loads were considered. The results obtained were compared graphically to each other, proving that the applicability of the program is something detachable and that its use provides quick and coherent results. In the first scenario of the study the results achieved for the theoretical methods were shown to be similar with an increase in the value of the allowable stress, as the settlement rate approaches the impermeable layer. For the semi-empirical methods, the values remain the same regardless of the depth change, since for the proposed problem there is a single compact sand layer of  $N_{spt} = 30$ . In the second scenario it was possible to perceive a considerable reduction of the permissible stress, which can cause serious damage to the foundation dimensioned on this circumstance. Given this circumstance, this work is efficient in providing a reduction in the errors involved in the calculation of soil parameters, optimizing the results and allowing the decision making process to be safe and economical.

**KEYWORDS:** Bearing capacity, allowable bearing capacity, theoretical Methods, semiempirical Methods, VBA

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mecanismo de Ruptura: (a) Ruptura Geral; (b) Ruptura Local; e por (c) Puncionamento.....	20
Figura 2 –	Gravação da macro fora do editor de códigos .....	25
Figura 3 –	Caixa de diálogo VBA: (a) para gravação da macro; (b) para exibição de macros.....	25
Figura 4 –	Janela de opções do Excel. ....	26
Figura 5 –	Janela do editor de códigos VBA. ....	27
Figura 6 –	Lista de ferramentas do editor de código VBA. ....	28
Figura 7 –	Janela Project Explorer.....	28
Figura 8 –	Exemplo da estrutura básica de uma função: (a) para o editor de códigos; (b) tipo de parâmetro.....	29
Figura 9 –	Comando inserir na barra de ferramentas e janela aberta após comando. ....	30
Figura 10 –	Exemplo de confirmação das configurações anteriores. ....	30
Figura 11 –	Exemplo de programação para uma função.....	31
Figura 12 –	Uso da função na planilha: (a) Função pela célula; (b) Resultado da função executada.....	31
Figura 13 –	Janelas: (a) do InputBox; e (b) do MsgBox.....	33
Figura 14 –	Planilha Início com todos os botões devidamente programados. .	35
Figura 15 –	Código registrado no Editor de Códigos pela gravação das macros. ....	36
Figura 16 –	Atribuição da Macro gravada ao Botão Cronograma. ....	37
Figura 17 –	Janela aberta para a escolha da Macro a ser atribuída. ....	37
Figura 18 –	Visão da parte superior da planilha CRONOGRAMA. ....	38
Figura 19 –	Visão da parte inferior da Planilha CRONOGRAMA. ....	38
Figura 20 –	Código da macro inserida no botão avançar conduzindo o usuário até a planilha MÉTODOS TEÓRICOS. ....	39
Figura 21 –	Código da macro inserida no botão voltar para retorna até a primeira planilha INÍCIO. ....	39
Figura 22 –	Caixas de diálogo abertas para se inserir as dimensões da sapata (a) e (b). ....	40

Figura 23 –	Primeira etapa da planilha MÉTODOS TEÓRICOS. ....	41
Figura 24 –	Sub-rotina gerada para a determinação das dimensões da sapata.	41
Figura 25 –	Caixas de diálogo solicitando o tipo de sapata (a) e (b). ....	42
Figura 26 –	Código da sub-rotina do Bulbo de Tensões. ....	42
Figura 27 –	Caixas de diálogo: (a) profundidade de bulbo de tensões, (b) nível d'água na sapata; e (c) profundidade em que se encontra a sapata. ....	43
Figura 28 –	Código da sub-rotina da determinação do peso específico a ser usado. ....	44
Figura 29 –	Segunda etapa da planilha de MÉTODOS TEÓRICOS, botão do tipo de ruptura e o gráfico dos modos de ruptura. ....	45
Figura 30 –	Caixas de diálogo (a) e (b). ....	45
Figura 31 –	Sub-rotina gerada para a determinação do tipo de ruptura do solo.	46
Figura 32 –	Conjunto de funções referentes ao modelo de Terzaghi/Vesic. ....	47
Figura 33 –	Código de parte das funções geradas. ....	47
Figura 34 –	Quadro com os fatores de profundidade e inclinação. ....	49
Figura 35 –	Equações para obtenção dos parâmetros do solo. ....	49
Figura 36 –	Código da função de Brinch - Hansen. ....	49
Figura 37 –	Código de programação da função. ....	50
Figura 38 –	Quadro da 3ª e 4ª etapa da planilha, cálculo da tensão admissível.	51
Figura 39 –	Código registrado no editor de códigos VBA para o cálculo da Tensão Admissível. ....	51
Figura 40 –	Visão da planilha MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS. ....	52
Figura 41 –	Código da função: (a) Terzaghi e Peck; (b) Meyerhof. (1965); (c) Teixeira (1996). ....	53
Figura 42 –	Macro usado no botão de Avançar. ....	54
Figura 43 –	Macro usada no botão de Voltar. ....	54
Figura 44 –	Macro usada no botão de Voltar ao Início. ....	54
Figura 45 –	Etapas da planilha GRÁFICOS. ....	55
Figura 46 –	Gráficos para comparação de resultados para um mesmo caso (a), (b) e (c). ....	55
Figura 47 –	Gráfico de comparação para três casos, (a), (b), (c), (d) e (e). ....	56
Figura 48 –	Tabela dos fatores de forma usados por Terzaghi. ....	57

Figura 49 –	Formulações para os métodos semiempíricos. ....	59
Figura 50 –	Visão geral da planilha CRONOGRAMA. ....	60
Figura 51 –	Visão geral da planilha MÉTODOS TEÓRICOS. ....	61
Figura 52 –	Visão da planilha GRÁFICOS. ....	61
Figura 53 –	Visão da planilha TABELAS. ....	62
Figura 54 –	Imagem do problema proposto. ....	63
Figura 55 –	Capacidade de carga x cota de assentamento. ....	65
Figura 56 –	Valores alcançados na planilha de MÉTODOS TEÓRICOS. ....	65
Figura 57 –	Tensão admissível x cota de assentamento (Métodos teóricos). ...	66
Figura 58 –	Tensão admissível para as três cotas de assentamento. ....	67
Figura 59 –	Tensão admissível x cota de assentamento (Método Semiempirico). ....	67
Figura 60 –	Valores alcançados da capacidade de carga pelas funções do programa. ....	69
Figura 61 –	Capacidade de carga x Nível d'agua. ....	69
Figura 62 –	Tensão admissível x Nível d'agua. ....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Expressões da capacidade de carga para sapatas isoladas com carga vertical centrada. ....	21
Tabela 2 –	Coesão e tangente do ângulo de atrito para ruptura por puncionamento. ....	21
Tabela 3 –	Alterações no cálculo da capacidade de carga devido à influência do nível d'água. ....	22
Tabela 4 –	Descrição das planilhas do programa de otimização. ....	35
Tabela 5 –	Parte da tabela dos fatores de carga de Vesic, 1975. ....	58
Tabela 6 –	Tabela de fatores de forma de Beer, 1967 e Vesic, 1975. ....	58
Tabela 7 –	Tabela com o peso específico para solos argilosos. ....	59
Tabela 8 –	Tabela com o peso específico para solos arenosos. ....	59
Tabela 9 –	Resultados do cálculo de capacidade de carga e tensão admissível pelos métodos teóricos: Hipótese 1 - variação da cota de assentamento. ....	64
Tabela 10 –	Resultados do cálculo de tensão admissível pelos métodos semiempíricos: Hipótese 1 - variação da cota de assentamento. ....	66
Tabela 11 –	Resultados do cálculo de capacidade de carga e tensão admissível pelos métodos teóricos: Hipótese 2 - variação do nível d'água. ....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivos Gerais.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	MOTIVAÇÃO.....	15
1.4	JUSTIFICATIVA.....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1	FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS.....	18
2.2	CAPACIDADE DE CARGA.....	18
2.3	TENSÃO ADMISSÍVEL.....	19
2.4	MÉTODOS DE CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E TENSÃO ADMISSÍVEL.....	19
2.4.1	Métodos Teóricos.....	19
2.4.2	Métodos Semiempíricos.....	22
2.5	OTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DA FUNDAÇÃO.....	23
2.6	VBA (Visual Basic for Applications) .....	23
2.6.1	Conceito de Macros.....	24
2.6.2	Editor de Códigos VBA e o ambiente de programação.....	27
2.6.3	Funções e Sub-Rotinas.....	28
2.6.4	Variáveis.....	32
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1	PRIMEIROS PASSOS.....	34
3.2	GRAVAÇÃO DE MACROS DO PROGRAMA.....	35
3.3	CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E TENSÃO ADMISSÍVEL.....	39
3.3.1	Métodos teóricos.....	39
3.3.1.1	<i>Primeira Etapa.....</i>	39

3.3.1.2	<i>Segunda Etapa</i> .....	44
3.3.1.3	<i>Terceira Etapa</i> .....	46
3.3.1.4	<i>Quarta Etapa</i> .....	50
3.3.2	Métodos semi-empíricos.....	51
3.3.2.1	<i>Primeira Etapa</i> .....	52
3.3.2.2	<i>Segunda Etapa</i> .....	52
3.4	COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	53
3.5	TABELAS DE AUXÍLIO.....	57
3.6	APRESENTAÇÃO DAS PLANILHAS DO PROGRAMA.....	60
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1	CASO 1 – VARIAÇÃO DA COTA DE ASSENTAMENTO.....	63
4.2	CASO 2 – VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA.....	68
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES E FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>70</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	70
5.2	SUGETÕES E FUTURAS PESQUISAS.....	71
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo intitulado de introdução, traz uma breve descrição das considerações de início do trabalho abordando os objetivos almejados, motivação e justificativa.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Toda grande obra de Engenharia Civil está associada a uma definição adequada de fundações. Elas desempenham funções que são de suma importância para garantir a sustentação e estabilidade de uma edificação, absorvendo as cargas provenientes da superestrutura e distribuindo-as sobre o solo.

Existem basicamente dois tipos de fundações: as fundações rasas ou superficiais e as fundações profundas. A diferença entre os tipos de fundação está ligada diretamente ao porte da estrutura sobre ela. A fundação superficial transmite os esforços diretamente para terreno e são projetadas em pequenas escavações no solo. As fundações profundas são geralmente usadas em obras de grande porte ou, quando o solo apresente camadas superficiais de baixa resistência. Ambas as soluções necessitam de métodos mais exatos e eficazes para o seu dimensionamento.

Estudos estruturais, geológicos e geotécnicos visam o conhecimento das cargas da estrutura e as propriedades geotécnicas do solo. Para o dimensionamento geotécnico de fundações é necessário conhecer a tensão admissível do solo, obtida indiretamente a partir da capacidade de carga; ou diretamente aplicando-se os métodos semiempíricos.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) destaca que a tensão admissível de um solo pode ser encontrada através de três métodos distintos: métodos teóricos; semiempíricos e ensaio de prova de carga sobre placa. Nos métodos teóricos, a capacidade de carga é calculada a partir de formulações propostas por pesquisadores, baseadas na compressibilidade e resistência ao cisalhamento do solo. Já nos métodos semiempíricos os resultados de ensaios de campo, como é o caso da sondagem à percussão SPT, são relacionados diretamente à tensão admissível. Os métodos teóricos existentes necessitam de grandes fatores de segurança para tornar válidos os valores obtidos e os métodos empíricos nem sempre conseguem reproduzir a situação real dos elementos de fundação a serem dimensionados. Já o ensaio de prova de carga sobre placa é utilizado principalmente na aferição dos valores obtidos nos métodos citados anteriormente, uma vez que possibilita plotar a curva tensão-recalque e, a partir da extrapolação desta curva, determinar o valor da capacidade de carga da fundação superficial.

Uma alternativa para automatizar os cálculos de capacidade de carga é a utilização de planilhas eletrônicas programadas, com o intuito de otimizar o tempo e reduzir as falhas humanas. Existem alguns trabalhos publicados nessa linha de pesquisa, como Cardoso (2011) que apresenta uma rotina computacional para dimensionar sapatas de concreto armado, com um ou mais pilares, para um número ilimitado de combinações de ações. Em outra pesquisa, Ferreira et al. (2014) desenvolveram um programa para estimar a capacidade de carga em estacas, facilitando a avaliação da melhor metodologia de cálculo, tipo de execução e as possibilidades para os mais variados tipos de estacas. Carvalho (2014) apresentou uma planilha eletrônica para otimizar os custos de projetos de estaqueamento de fundações profundas, com o objetivo de possibilitar a escolha de uma melhor solução relacionada ao custo de projeto de fundações profundas, considerando diversos fatores, tais como: custo unitário das estacas e concreto armado. Oliveira e Amâncio (2016) apresentaram uma planilha eletrônica capaz de automatizar o cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível para sapata (quadrada, retangular e circular) com carga vertical centrada por meio de diversas metodologias, considerando a variação do nível freático e os três tipos de rupturas. Este último trabalho, foi usado como ponto inicial para esta pesquisa desenvolvida.

Este trabalho apresenta resultados obtidos a partir do desenvolvimento de um conjunto de planilhas eletrônicas através do software Microsoft Excel, fazendo uso da ferramenta VBA. Os parâmetros coesão, ângulo de atrito, peso específico e nível freático foram utilizados para estimar a capacidade de carga e a tensão admissível para sapata isolada, em diferentes ocasiões, e por diversas metodologias. A ferramenta foi aplicada em dois cenários fictícios: (1) sapata quadrada com variação da cota de assentamento e (2) sapata quadrada com variação do nível freático. Foram consideradas cargas centradas e excêntricas

Neste contexto, através do uso da planilha de rotina de cálculos, este trabalho procura minimizar os erros envolvidos no cálculo de capacidade de carga de sapatas isoladas, otimizando os resultados e permitindo análise e tomada de decisão mais segura e econômica.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Automatizar o tópico da capacidade de carga e da tensão admissível para o dimensionamento de fundações superficiais através do software do Excel fazendo uso da ferramenta VBA, considerando diversas situações geométricas e geotécnicas, e metodologias de cálculo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Programar a planilha e rotina de cálculo
- Calcular a capacidade de carga e a tensão admissível abordando os métodos teóricos de Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1961) e Vésic (1975) e os métodos semi-empíricos propostos por propostas por Terzaghi e Peck (1967), Meyerhof (1965) e Teixeira (1996).
- Automatizar os cálculos, para sapata quadrada sobre diferentes cotas de assentamento e circunstâncias de nível d'água.
- Exibir graficamente a comparação entre os resultados obtidos.

## 1.3 MOTIVAÇÃO

Com a crescente demanda de obras dentro da Engenharia Civil a necessidade de métodos que acelerem as etapas de projeto é algo imprescindível. Independentemente do tipo de obra e de sua necessidade a etapa de projeto sempre demanda tempo para ser realizada e tempo dentro da construção civil é algo que detém valor. Dentre todos os projetos constituintes de um empreendimento, o projeto de fundações é um dos que carrega grande responsabilidade. Na tentativa de suprir a demanda é muito comum se realizar de forma negligente a investigação do solo onde se pretende construir, colhendo informações duvidosas, que ainda assim, são usadas na realização do projeto. Com isso problemas estruturais que comprometem a estrutura ainda se fazem presentes nos dias atuais.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A realização desta pesquisa tem a proposta de contribuir para a realização de projetos de fundações superficiais, através da otimização do cálculo de propriedades geomecânicas como a capacidade de carga e a tensão admissível por intermédio da plataforma do Excel (VBA Visual Basic for Applications), pelo qual permitirá obter resultados rápido e precisos mediante os métodos de cálculo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está subdividido em 5 capítulos, distribuídos da seguinte maneira:

### CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

Apresenta a Introdução, na qual se tem uma visualização geral do trabalho desenvolvido, incluindo as considerações iniciais, os objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho.

### CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta uma revisão da literatura sobre o tema: fundações superficiais, capacidade de carga, tensão admissível, otimização do cálculo da fundação e Visual Basic for Application (VBA) e suas composições, características e aplicações.

### CAPÍTULO III. METODOLOGIA

Apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, descrevendo a classificação do estudo, o planejamento da pesquisa, determinação das variáveis utilizadas e procedimento para o levantamento dos dados.

### CAPÍTULO IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresenta os resultados do cálculo de capacidade de carga e tensão admissível para cada hipótese considerada na pesquisa, assim como comparação e discussão dos resultados dos métodos de cálculo.

### CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Apresenta as principais conclusões da presente pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente tópico traz uma descrição dos principais conceitos teóricos abordados como referência para a elaboração do trabalho. Descrevendo de forma singular o conteúdo abordado.

### 2.1 FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS (DIRETAS)

As fundações diretas são sub agrupadas em blocos e sapatas. Os blocos são elementos de concreto simples, dimensionados para suportar os esforços de tração sem a necessidade de armaduras. As sapatas são elementos de fundações de concreto armado, de modo em que a armadura resista aos esforços de tração. As sapatas podem ser isoladas, corridas, divisa, associada e radier.

Outro aspecto de grande importância e que influencia de forma direta no projeto de fundações é o nível de água á que a sapata está submetida. Quanto maior a quantidade de água no solo maior a dificuldade para a elaboração da fundação, seja pelo fato de se ter maior deformação do solo pela diminuição de sua resistência ou até mesmo, pelas dificuldades de executar a própria escavação do terreno (CINTRA et al. 2010).

Para lidar com essa situação é preciso adotar métodos e matérias que sejam capazes de gerar estabilidade suficiente, que minimizem os riscos de desmoronamentos do solo assim como, segurança da estrutura quanto ao colapso e deformações excessivas.

### 2.2 CAPACIDADE DE CARGA

A capacidade de carga de uma fundação consiste na tensão transmitida pela própria fundação ao solo. Ela é capaz de gerar deformações excessivas e até ruptura do maciço. A capacidade de carga é definida por meio de um grupo de variáveis como as dimensões da fundação, profundidade de assentamento, das características dos solos etc.

Segundo a NBR 6122/2010, a capacidade de carga dos solos pode ser calculada por vários métodos, dentre os principais, podemos citar:

- Provas de carga sobre placas, onde os resultados devem ser interpretados pela relação direta entre a placa e a fundação real.

- Métodos teóricos, desenvolvidos com base nas propriedades de resistência ao cisalhamento e compressibilidade do solo. Onde se destaca as formulações clássicas de Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1961), Vésic (1974), etc.
- Métodos empíricos como Terzaghi e Peck (1967), Meyerhof (1965) e Teixeira (1996), onde a capacidade de carga é obtida de dados das condições do terreno e de tabelas de tensões básicas.

## 2.3 TENSÃO ADMISSÍVEL

A NBR 6122/2010, indica que podem ser empregados métodos analíticos (teorias da capacidade de carga) nos domínios de validade de sua aplicação, que contemplem todas as particularidades do projeto, inclusive a natureza do carregamento (drenado ou não drenado). Com isso o valor da tensão admissível fica a critério de se ter ou não prova de carga do solo para se definir o fator de segurança. Na ausência de prova de carga o valor recomendado pela NBR 6122/2010 é de 3,0. Com esse valor juntamente com o valor médio da capacidade de carga é possível encontrar o valor da tensão admissível (CINTRA et al. 2010).

Ainda de acordo com a Norma, a tensão admissível de uma fundação rasa é a tensão aplicada ao solo gerando pequenos recalques suportáveis pela construção, gerando segurança contra a ruptura e escoamentos do solo e do elemento estrutural. Pode ser definida a partir de um fator de segurança global. Para isso, é preciso que a tensão admissível encontrada satisfaça as condições dos ELU (estado limite último) e ELS (estado limite de serviço).

## 2.4 METODOS DE CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E TENSÃO ADMISSÍVEL

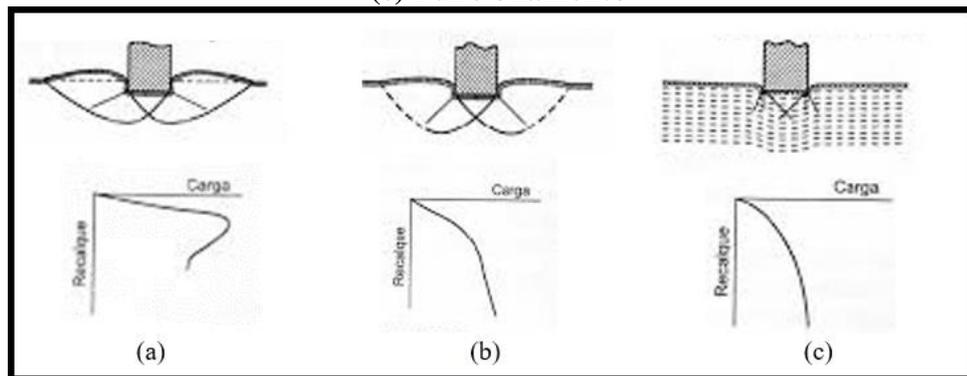
### 2.4.1 Métodos Teóricos

Os métodos teóricos consistem em formulações clássicas desenvolvidas por estudiosos, como Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1961) e Vésic (1975), para estimar a capacidade de carga do solo, e são baseadas essencialmente nas propriedades de resistência ao cisalhamento e na compressibilidade do solo.

Essas formulações estão relacionadas com os mecanismos de ruptura do solo descritos por Vésic (1975), que dependem tanto da rigidez do maciço quanto da cota de

assentamento da fundação. O primeiro mecanismo é a ruptura generalizada, que ocorre em solos mais rígidos, como é o caso de areias compactas e argilas rijas e apresenta superfície de ruptura bem definida. O segundo mecanismo é o puncionamento, um mecanismo de difícil observação, uma vez que, à medida que a carga aumenta, o solo imediatamente abaixo é comprimido, descendo verticalmente, acompanhando o recalque da fundação. Ocorrem, principalmente, em solos menos rígidos e mais deformáveis, como areias. Por fim, tem-se a ruptura local, tratada como um caso intermediário entre as duas descritas anteriormente. Forma-se uma cunha e superfícies de deslizamento junto à borda da fundação, contudo, essas superfícies não atingem o terreno e não há colapso ou tombamento da fundação. É comum em solos intermediários, como areias medianamente compactas e argilas médias a moles. Esses mecanismos de ruptura estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1 - Mecanismo de Ruptura: (a) Ruptura Geral; (b) Ruptura Local; e por (c) Puncionamento**



**Fonte: Fundações diretas projetos geotécnicos, CINTRA (2010)**

Na Tabela 1 encontram-se as expressões desenvolvidas por Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Brinch-Hansen (1961) e Vésic (1975), para solos com ruptura generalizada e fundações com carga vertical centrada, em que:  $\sigma_r$ : capacidade de carga (kPa);  $c$ : coesão do solo (kPa);  $q$ : tensão efetiva na cota de apoio (kPa);  $\gamma$ : peso específico do solo ( $\text{kN/m}^3$ );  $B$ : menor dimensão da fundação (m);  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$ : fatores de capacidade de carga;  $S_c$ ,  $S_q$  e  $S_\gamma$ : fatores de forma;  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$ : fatores de profundidade.

**Tabela 1 - Expressões da capacidade de carga para sapatas isoladas com carga vertical centrada.**

Autor	Formulação
Terzaghi (1943)	$\sigma_r = cNc + qNq + 0,5\gamma BN\gamma$
Meyerhof (1963)	$\sigma_r = cNcscdc + qNqsqdaq + 0,5\gamma BN\gamma sydy$
Brinch-Hansen (1961)	$\sigma_r = cNcscdc + qNqsqdaq + 0,5\gamma BN\gamma sydy$
Vesic (1975)	$\sigma_r = cNcscdc + qNqsqdaq + 0,5\gamma BN\gamma sydy$

**Fonte: DAS (2007)**

Admitindo-se que o mecanismo de ruptura em solos fofos e moles ocorre por punção, para tanto, Terzaghi (1943) propôs a utilização da mesma equação usada para ruptura generalizada, porém, emprega uma redução empírica na coesão do solo, em kPa, e no ângulo de atrito, em graus, conforme as seguintes equações:

**Tabela 2 - Coesão e tangente do ângulo de atrito para ruptura por punção.**

<b>RUPTURA POR PUNÇIONAMENTO</b>
$c' = 2/3$
$\tan\phi' = 2/3 \tan\phi$

**Fonte: Adaptado, Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

Já no caso em que o solo apresenta mecanismo de ruptura local, Cintra et al. (2011) sugerem calcular o valor médio da capacidade de carga para as condições de ruptura geral e de punção para todos os métodos teóricos.

Além do mecanismo de ruptura, a variação no nível d'água influencia o cálculo da capacidade de carga: (a) nível do lençol freático acima da base da fundação; (b) nível do lençol freático coincide com a base da fundação; (c) nível do lençol freático abaixo da base da fundação. Para cada um desses casos, Das (2007) recomenda efetuar as correções tanto no cálculo da pressão efetiva como no peso específico do solo, conforme mostra a Tabela 3, em que:

$\gamma$ : peso específico do solo seco ( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_{\text{sat}}$ : peso específico do solo saturado abaixo do NA ( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_a$ : peso específico da água ( $\text{kN/m}^3$ );

$h_1$ : profundidade do lençol freático em relação à superfície do terreno (m);

$h_2$ : distância vertical do lençol freático à base do elemento de fundação (m).

**Tabela 3 - Alterações no cálculo da capacidade de carga devido à influência do nível d'água.**

	<b>Pressão efetiva (q)</b>	<b>Peso específico (<math>\gamma</math>)</b>
<b>Caso (a)</b>	$q = \gamma h_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_a) h_2$	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_a$
<b>Caso (b)</b>	-	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_a$
<b>Caso (c)</b>	-	$\gamma_{med} = (\gamma_{sat} - \gamma_a) + h_2 B$ $(\gamma - \gamma_{sat} + \gamma_a)$

**Fonte: DAS (2007)**

Analisando as expressões apresentadas, percebe-se que as variáveis independentes são: coesão; ângulo de atrito; peso específico do solo (seco e saturado); nível do lençol freático; dimensões da fundação e cota de assentamento, por isso foram adotadas como variáveis de entrada para os métodos teóricos, sendo as demais calculadas pela execução das funções da planilha. É importante lembrar que essas informações podem ser obtidas através de correlações com o  $N_{SPT}$  (resistência à penetração) ou através de ensaios realizados em campo e/ou laboratório.

#### 2.4.2 Métodos Semiempíricos

A NBR 6122/2010 define métodos semiempíricos como sendo métodos que relacionam resultados de ensaios (tais como SPT, CPT e etc.) com tensões admissíveis. Dentre eles, destacam-se: Terzaghi e Peck (1967); Meyerhof (1965) e Teixeira (1996).

Devem ser observados os domínios de validade de suas aplicações, bem como as dispersões dos dados e as limitações regionais aplicadas a cada um dos métodos. Nesse tipo de situação os valores obtidos da tensão admissível acontecem por uma correlação direta, o que dispensa o uso de um fator de segurança global.

Para o ensaio SPT (Sondagem a percussão) a correlação ocorre com o índice de resistência a penetração ( $N_{SPT}$ ). Para o CPT (Ensaio de penetração de cone) a correlação ocorre com a resistência de ponta ( $q_c$ ). (CINTRA et al. 2010).

## 2.5 OTIMIZAÇÃO DO CÁLCULO DA FUNDAÇÃO

A grande demanda de projetos de fundações dentro da construção civil, somado a necessidade de vencer cronogramas cada vez mais apertados, alimenta ainda mais a necessidade de buscar alternativas que gerem otimizações construtivas e econômicas. A otimização de cálculo vem sendo buscada com maior frequência no cenário da engenharia civil, onde através de softwares computacionais se consegue acelerar a realização dos cálculos, permitindo a melhor escolha de fundação direta, com o melhor custo benefício.

Diante dessa realidade são muitos os estudos acadêmicos visando proporcionar maior praticidade e eficácia na realização dos cálculos para dimensionamento de fundações. Nomes como: Cardoso (2011), Ferreira et al. (2014), Carvalho (2014) citados anteriormente se destacam na elaboração destas alternativas de cálculo.

Oliveira e Amâncio (2016) apresentou uma planilha eletrônica capaz de automatizar o cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível para sapata (quadrada, retangular e circular) por meio de diversas metodologias, considerando a variação do nível freático e os três tipos de rupturas, sendo este a maior referência para a realização do presente estudo.

## 2.6. VBA (Visual Basic for Applications)

Existem diversas ferramentas úteis capazes de gerar a otimização de cálculos de fundações e de diversas outras necessidades estruturais, algumas agregam maior complexidade, outras de forma simples, mas não menos incapazes, conseguem atingir o objetivo desejado. Dentre todas, uma ferramenta de extrema capacidade e utilidade é VBA (Visual Basic for Applications).

O VBA é uma variante do Visual Basic usado pela Microsoft, podendo ser utilizado em todos os programas que compõe o pacote office, assim como em outras aplicações da Microsoft Office, como: Excel, Power Point, Word. Ele complementa e substitui as antigas opções de linguagens de programação sendo caracterizado por comandar exercer diversas funções. Associado ao Excel o VBA permite com que os cálculos associados ao projeto de fundações possam ser realizados de forma mais rápida comparando resultados, ou seja, otimizando-os.

Com essa ferramenta é possível gerar comandos que permitem a automatização de variáveis inseridas. Dentre suas muitas utilidades, o VBA permite:

- Pedir para o usuário inserir dados e se comunicar com ele;
- Abrir e fechar centenas de arquivos para busca de dados;
- Buscar valores entre abas de forma automatizada;
- Criar e imprimir relatórios;
- Acessar bancos de dados;
- Enviar listas de e-mails personalizados;
- Criar funções para serem usadas no Excel.

Para trabalhar com o VBA é preciso ter conhecimento das ferramentas básicas de seu funcionamento, logo é preciso saber manipular o programa pelo qual servirá de base para que os códigos de programação sejam construídos. No caso da presente pesquisa, o programa de base é o Excel, sendo sobre ele que o VBA será utilizado.

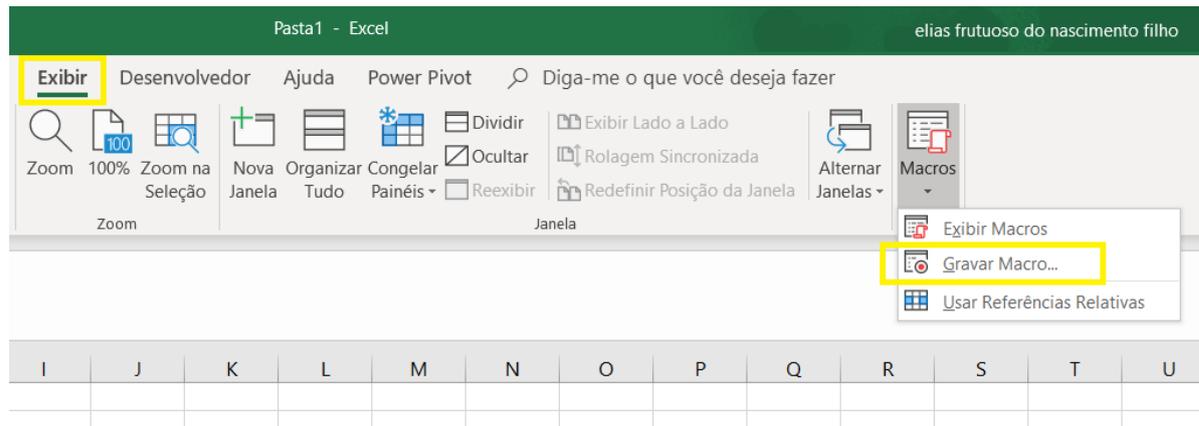
O VBA apenas pode ser usado para processar códigos dentro de uma de uma aplicação, permitindo assim comandar uma aplicação a partir de outra. É uma ferramenta rica em funcionalidades desde a execução de macros quanto a geração de comandos como procedimentos, funções e sub-rotinas.

### 2.6.1 Conceito de Macros

Uma Macro consiste em um sub - trecho de código (pequeno programa), que contém uma sequência de comandos que automatizam tarefas dentro do Excel. Sua aplicação garante a execução de vários comandos de forma intuitiva e prática.

As macros podem ser gravadas de duas maneiras: através da janela que comanda a gravação de macros (Gravador de Macros), através de clicks do mouse, ou por intermédio do editor e programando em Visual Basic for Applications. A Figura 2 apresenta a janela de comando para gravação da macro fora do editor de códigos.

**Figura 2 - Gravação da macro fora do editor de códigos.**

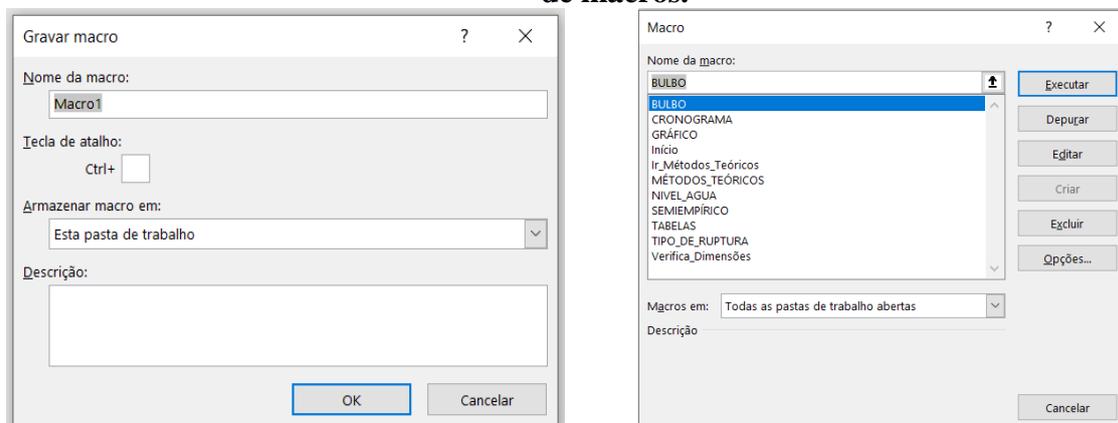


**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Para que a gravação seja efetuada é preciso estabelecer o nome da macro através de um conjunto de caracteres que servirão para sua identificação. Também é possível definir uma tecla de atalho para que a macro possa ser executada rapidamente. Se o atalho já existir o Excel automaticamente sugere uma opção válida. Dentro da janela é possível definir o local de armazenamento da macro e por fim, existe um campo destinado para a descrição da macro, sendo de muita relevância para que se possa ter ideia quais comandos serão realizados (Figura 3a).

Após a gravação da macro é possível ter acesso a ela por meio da janela de exibição de macros e códigos, de forma que é possível selecionar as macros gravadas (Figura 3b).

**Figura 3 - Caixa de diálogo VBA: (a) para gravação da macro; (b) para exibição de macros.**



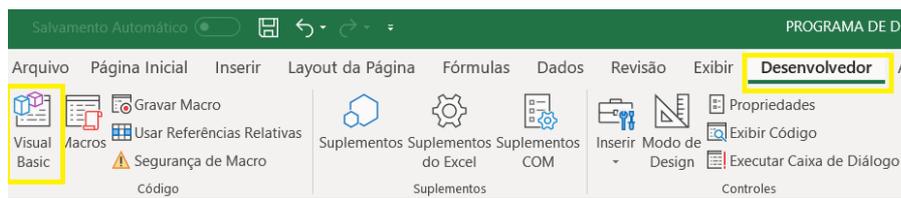
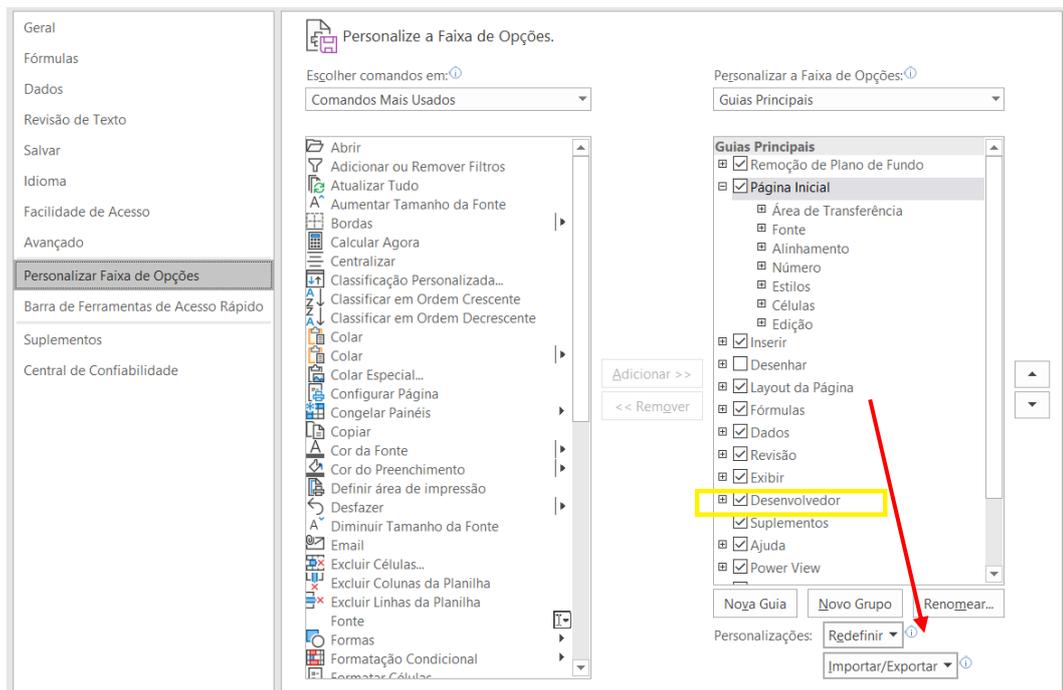
(a)

(b)

**Fonte: Excel Autor (2018)**

Para se realizar a gravação de uma macro a partir do editor de gravação do VBA é preciso primeiramente atribuir acesso ao usuário do Excel. Dentro da janela de opções presentes no menu arquivos precisamente no item “Personalizar faixa de Opções” é preciso marcar a opção desenvolvedor, com esta opção selecionada, e confirmando com o ok o Excel passa a exibir na sua barra de ferramentas a opção de Desenvolvedor de onde poderemos ter acesso a diversas funções específicas para programação inclusive ao editor de códigos VBA (Figura 4).

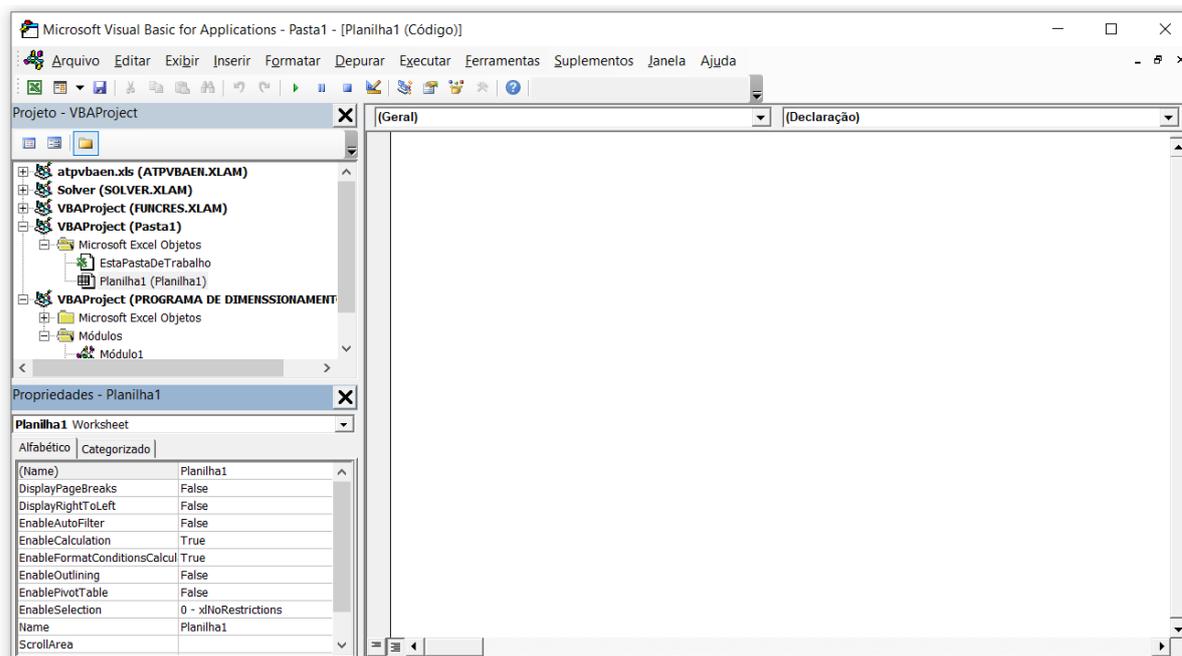
**Figura 4 - Janela de opções do Excel.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Ao selecionar a opção do editor do VBA, uma janela específica é aberta de onde se executa os códigos para se gerar macros (sub trechos de códigos) e trechos de códigos (rotinas e sub-rotinas) (ver Figura 5). Independente da forma com que a macro foi gravada, é possível ter acesso ao código registrado dentro do editor de código VBA, visto que o que for selecionado no Excel durante a gravação apresenta uma nomenclatura específica dentro do editor de códigos.

**Figura 5 - Janela do editor de códigos VBA.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

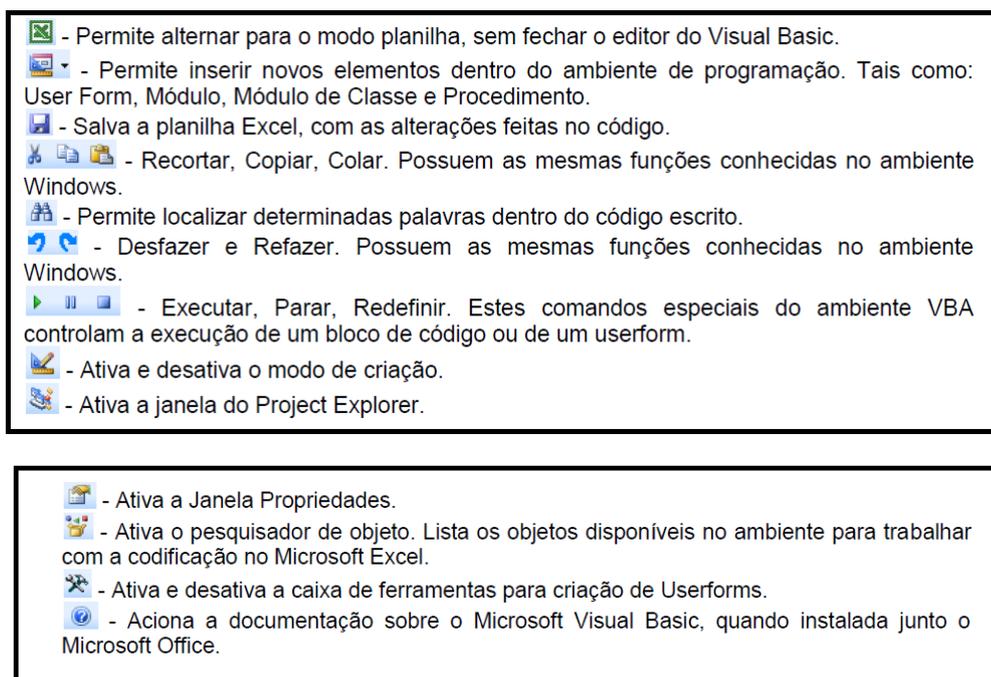
### 2.6.2 Editor de Códigos VBA e o ambiente de programação

O editor de códigos VBA pode ser acionado tanto através do campo de desenvolvedor do Excel, como por meio do atalho (Alt F11). Dentro do ambiente de VBA existe uma barra de ferramentas pela qual auxilia na execução de qualquer trecho de código. As principais ferramentas estão listadas na Figura 6.

Antes da realização de qualquer trecho de código é preciso estabelecer algumas configurações por meio da janela Project Explorer (Figura 7). Com ela é possível visualizar todos os elementos principais contidos dentro da pasta de trabalho do Excel. Ela é formada por todas as pastas de trabalho abertas no Excel, ou seja, de todos os projetos de códigos VBA ativos. As pastas são segregadas em Microsoft Excel Objetos, Formulários e Módulos (quando houver). As planilhas contidas na pasta de trabalho são os objetos mostrados em Microsoft Excel Objetos, que também podem ser codificados com VBA.

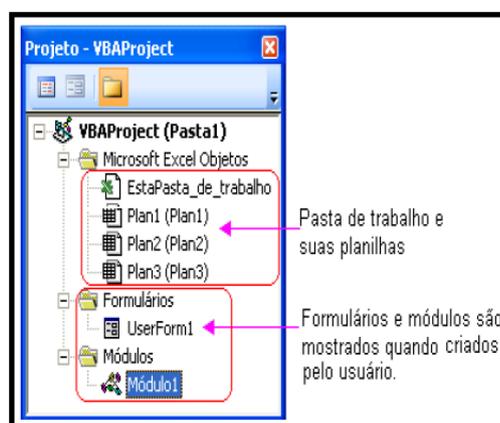
Tendo conhecimento quanto as ferramentas e a janela Project Explorer, o campo para a realização dos trechos de códigos, rotinas e sub-rotinas é a janela de edição. Nela que os comandos são descritos para que o Excel possa executar.

**Figura 6 - Lista de ferramentas do editor de código VBA.**



**Fonte: Alfa mídia educação profissional (2016)**

**Figura 7 - Janela Project Explorer.**



**Fonte: Alfa mídia educação profissional (2016)**

### 2.6.3 Funções e Sub-Rotinas

Ao se gravar uma macro, a sequência de comandos fica registrado dentro do editor de código VBA, o que permite não apenas a visualização como também qualquer tipo de edição. Cada macro possui um comportamento autônomo relativamente e concreto. Ao se gerar uma

macro estamos gerando uma rotina ou procedimento. Existem dois tipos de rotinas: (a) sub-rotinas ou rotinas Sub; (b) Funções.

Por definição sub-rotinas dentro do VBA são aquelas cuja definição é estabelecida através da palavra chave Sub e EndSub. Assim toda macro gravada dentro do Excel ao ser visualizada dentro do editor de códigos apresentam essa composição, ou seja, tudo que é registrado dentro dessas palavras é a própria macro.

Funções são rotinas cuja definição começa com a palavra-chave Function e termina com as palavras End Function. Todas as funções que utiliza no Excel são deste tipo de rotina. Elas são identificadas pelo nome, pelo número e pelo tipo de parâmetros recebidos. Cada função possui o objetivo de executar um conjunto de instruções retornando um valor obrigatoriamente mesmo que nulo. Existem diversas funções dentro do Excel, quando acionadas, basta selecionar o conjunto de células e o comando da função retornará um valor.

Um exemplo muito usado no Excel é a função soma que ao ser acionada através do comando “= soma” (inserido na barra de fórmulas ou na célula de preferência) que solicita ao usuário o conjunto de células que são os parâmetros da função separados por “; “ (ponto e vírgula) para efetuar a soma dos valores. Para definir o valor produzido por uma função basta no seu interior, atribuir ao nome da função um determinado valor ou expressão (ISCTE / DCTI, 2016).

Um outro ponto crucial para que a função seja construída é a definição do tipo de parâmetro e do tipo de função. A estrutura de uma função é constituída conforme apresentado na Figura 8a. Os parâmetros possuem tipos que definem características para os parâmetros das funções. Quando não declarado o tipo dos parâmetros automaticamente assume o tipo “variant” o que significa que o parâmetro pode ser de qualquer tipo (Figura 8b).

**Figura 8 - Exemplo da estrutura básica de uma função: (a) para o editor de códigos; (b) tipo de parâmetro.**

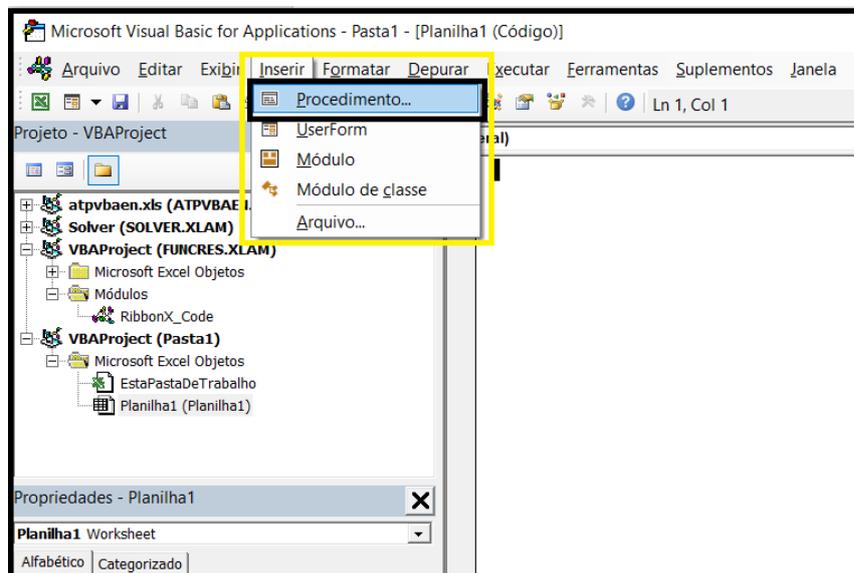
(a)	(b)
<pre>Function &lt;Nome da Função&gt; ( &lt;parametro1&gt;, &lt;parametro2&gt;,...) ...     &lt;Nome da Função&gt; = &lt;Valor / Expressão&gt; ... End Function</pre>	<pre>Function &lt;Nome da Função&gt; ( &lt;parametro1&gt; As &lt;Tipo&gt;, ... ) As &lt;Tipo&gt; ...     &lt;Nome da Função&gt; = &lt;Valor / Expressão&gt; ... End Function</pre>

**Fonte: Excel – Macros e Visual Basic for Applications, versão Draft, (2016).**

A criação de uma função é uma tarefa relativamente simples dentro do editor de códigos VBA, ela pode ser realizada diretamente na janela de edição ou através das ferramentas posicionadas na parte superior dentro do editor de códigos (Figura 9).

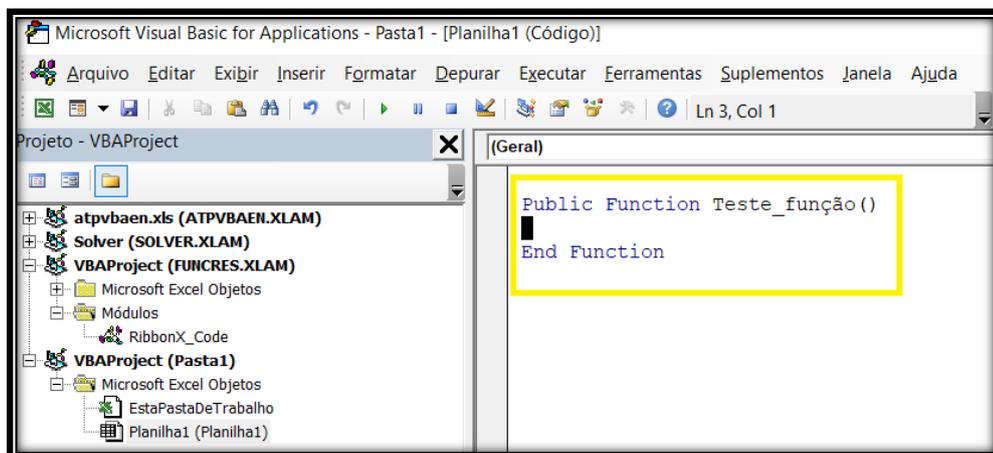
Uma vez escolhida o tipo de procedimento (neste caso função), definida o seu escopo e o nome da função a etapa que precede é a determinação dos parâmetros da função e por fim, a programação propriamente dita que é o que de fato define o que a função irá realizar pelo que podemos observar através das figuras 10 e 11.

**Figura 9 - Comando inserir na barra de ferramentas e janela aberta após comando.**



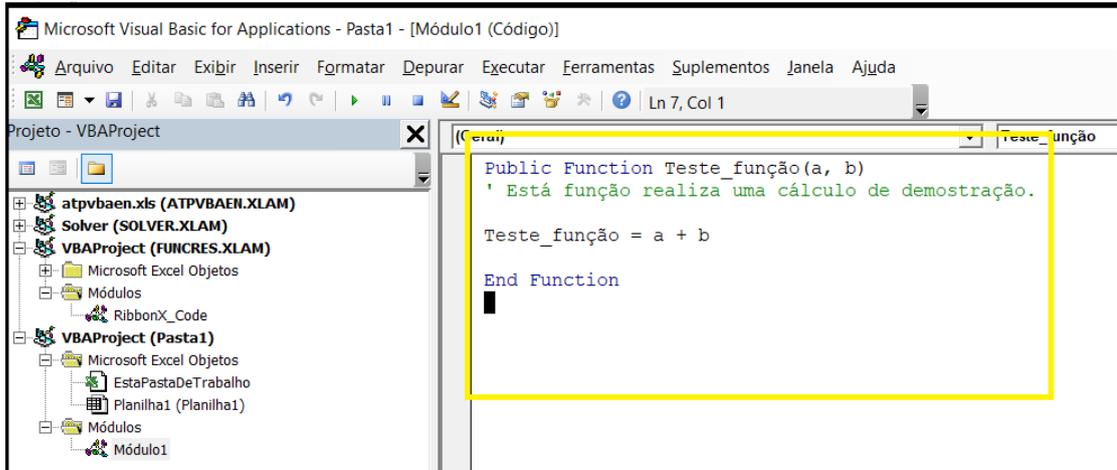
Fonte: Excel, Autor (2018)

**Figura 10 - Exemplo de confirmação das configurações anteriores.**



Fonte: Excel, Autor (2018)

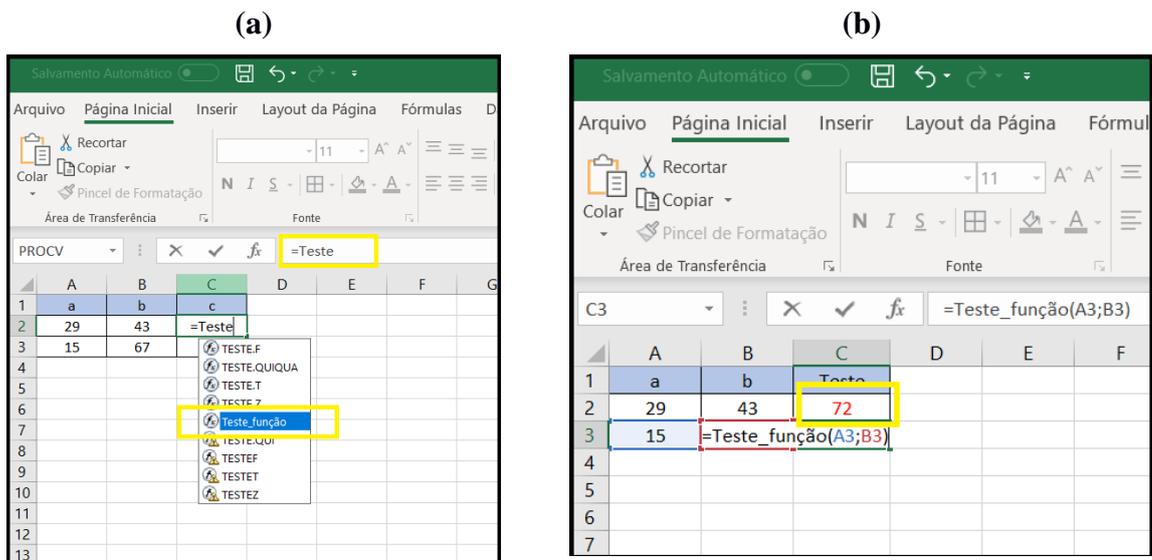
**Figura 11 - Exemplo de programação para uma função.**



Fonte: Excel, Autor (2018)

Após programado a função, o processo de uso dela dentro da planilha segue a mesma orientação de qualquer função dentro do Microsoft Excel, como a função “soma” citada anteriormente. No exemplo a função gerada é a “Teste\_função”, na Figura 12a é possível visualizar o momento em que a função é chamada, e na Figura 12b o seu uso após selecionar as células desejadas.

**Figura 12 - Uso da função na planilha: (a) Função pela célula; (b) Resultado da função executada.**



Fonte: Excel, Autor (2018)

#### 2.6.4 Variáveis

As variáveis são depósitos de dados temporários, podendo ser usadas em diversas finalidades dentro do VBA. Podem armazenar diferentes tipos de dados, elas se caracterizam por poder serem classificadas em diversos tipos, onde para cada uma delas temos características particulares.

A declaração de variáveis deve ser realizada diretamente na janela de edição do VBA seja em uma função ou sub-rotina, ou seja, em qualquer procedimento. Para isso primeiramente se digita-se o termo “Dim” (que indica que uma variável será declarada), em seguida o nome da variável para que por fim através do termo “As” determinar o tipo de variável a ser declarada.

Exemplo:

**Dim** Valor1 **As Integer**

**Dim** Valor2 **As Integer**

Ou ainda:

**Dim** Valor1 **As integer**, Valor2 **As Integer**, Valor3 **As Integer** ...

É possível também declarar de uma só vez várias variáveis de diversos tipos:

**Dim** Valor1 **As Integer**, Valor2 **As Double**, Valor3 **As Date** ...

As variáveis possibilitam uma simplificação da codificação, principalmente quando se precisa usar um valor específico várias vezes, além de deixar o código mais rápido e organizado. Existem outras formas de declaração de variáveis, porém as descritas acima foram as utilizadas na codificação do programa de automação.

Existe uma ferramenta dentro do VBA capaz de gerar a comunicação entre o usuário do programa e o que se está programando (Inputbox e MsgBox). Inputbox é uma função do VBA que permite ao usuário introduzir dados através de uma janela de comunicação (Figura 13<sup>a</sup>). Como é uma função ela produz um valor final e estes dados inseridos geralmente são do tipo texto armazenados temporariamente em variáveis de um programa.

Quanto a sintaxe temos a seguinte composição: InputBox(prompt[, title] [, default] [, xpos] [, ypos] [, helpfile, 32ontexto]), onde o único termo que fica fora dos colchetes é o prompt, pois é um argumento obrigatório. Os demais termos são opcionais.

- Prompt: mensagem a ser exibida ao usuário quando executada a função inputbox;

- Title: título da caixa de mensagem, localizado na barra de identificação (barra azul);
- Default: um valor que já aparece preenchido na inputbox (valor padrão);
- Xpos, Ypos: posição em que a caixa de mensagem se posiciona na tela. O padrão é o centro.
- HelpFile, Context: utilizados para designar um arquivo e um contexto de ajuda para a caixa de mensagem.

O MsgBox é uma ferramenta de saída que permite ao usuário visualizar dados produzidos pelo programa (Figura 13b). Quanto a sintaxe temos a seguinte composição: MsgBox(prompt[, buttons] [, title] [, helpfile, 33ontexto]). Apenas o primeiro parâmetro é obrigatório, de modo que quando os demais não são usados eles assumem valores atribuídos por padrão.

- Prompt: mensagem a ser exibida na caixa de mensagem;
- Buttons: várias opções de configuração de uma MsgBox. Se for omitido assumirá o valor 0 por padrão;
- Title: título da caixa de mensagem. Se este for omitido, aparecerá o padrão que é o nome da aplicação;
- HelpFile: nome do arquivo que será utilizado para ajuda. Se for indicado este parâmetro o seguinte é obrigatório;
- Context: número do índice do tópico de ajuda.

**Figura 13 – Janelas: (a) do InputBox; e (b) do MsgBox.**



**Fonte: Alfa Mídia educação profissional (2016)**

### 3 METODOLOGIA

O seguinte tópico traz uma descrição de toda metodologia empregada na realização do programa de automação, enfatizando as etapas sequenciais de tudo que foi concretizado com a realização do trabalho.

#### 3.1 PRIMEIROS PASSOS

Para que o Excel esteja habilitado a usar das ferramentas de programação, ou seja, o editor de códigos é preciso estabelecer a configuração inicial. Com a aba de desenvolvedor exibida, o processo de elaboração do programa de otimização pode ser iniciado.

Foi definido o número de planilhas a serem utilizadas, uma vez que, é preciso gerar uma sequência de atividades práticas e lógicas para que o usuário tenha um ambiente confortável e rápido para realização dos cálculos. Assim, foram definidas 6 (seis) planilhas no total onde cada uma apresentará uma etapa do programa de otimização (Tabela 5).

A primeira planilha foi destinada a conter a descrição de início do programa. Nela, o usuário terá contato direto com o a ideia central do programa (Cálculo de capacidade de carga e tensão admissível para sapatas isoladas) como também, uma sequência de botões programados para direcioná-lo a planilha específica em que se deseja trabalhar.

A segunda planilha é destinada ao cronograma da programação, o que significa que o usuário terá um auxílio para poder entender como o programa irá funcionar.

A terceira planilha do programa registrada como MÉTODOS TEÓRICOS. É a planilha onde os cálculos da capacidade de carga e tensão admissível são realizados, nessa planilha o usuário entrará com dados e parâmetros do solo para que seja possível efetuar os cálculos da capacidade de carga e da tensão admissível.

A quarta planilha registrada como MÉTODOS SEMIEMPIRICOS se detém em dar continuidade aos cálculos da tensão admissível a partir de dados de entrada inseridos pelo usuário e por meio do  $N_{spt}$  (ensaio de sondagem a percussão).

A quinta planilha é destinada a comparação direta dos valores obtidos a partir das planilhas anteriores.

A sexta e última planilha é destinada a armazenar um conjunto de tabelas que atuam como fontes de dados para que o usuário possa obter os parâmetros do solo trabalhado.

**Tabela 4 - Descrição das planilhas do programa de otimização.**

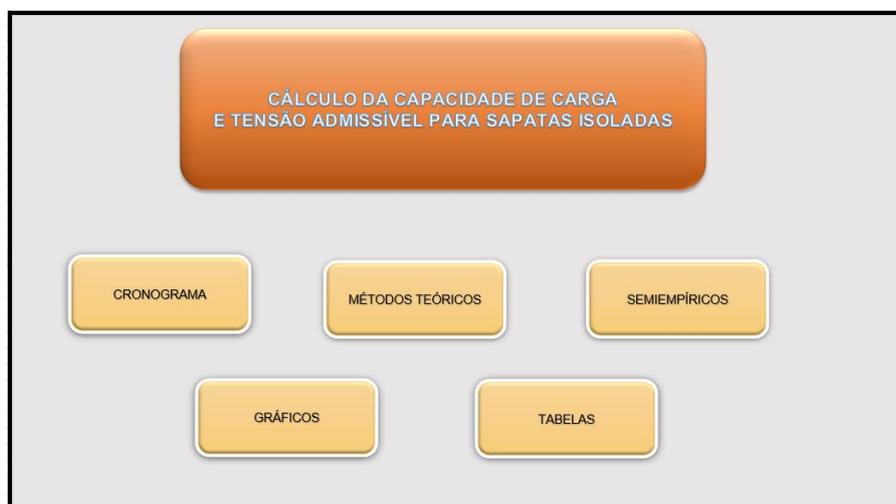
NOME DAS PLANILHAS		OBJETIVOS
1	INÍCIO	Descrição de início do programa
2	CRONOGRAMA	Cronograma a programação
3	MÉTODOS TEÓRICOS	Realizados cálculos da capacidade de carga e tensão admissível
4	SEMIEMPIRICOS	Realizados cálculos de tensão admissível pelos métodos semiempíricos
5	GRÁFICOS	Realiza a comparação entre os valores calculados nas planilhas anteriores.
6	TABELAS	Auxilia o usuário na obtenção dos dados de entrada

**Fonte: Autor (2018)**

### 3.2 GRAVAÇÃO DE MACROS DO PROGRAMA

Tendo definido as planilhas a serem programadas e inserido todos botões da planilha “início” (Figura 14), a gravação das macros foi executada. A princípio, as macros gravadas foram destinadas aos botões com a função de migração entre as planilhas, tendo em mente a possibilidade de poder ir voltar sempre que necessário ao usuário. Exemplo: para ir a planilha dois que recebeu o título cronograma o usuário clica sobre o botão cronograma e automaticamente o usuário é redirecionado.

**Figura 14 - Planilha Início com todos os botões devidamente programados.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Sempre que uma macro é gravada, automaticamente o código fica registrado no editor de códigos do VBA, onde é possível visualizar o nome da macro sua descrição, ou seja, o que ela vai realizar e código propriamente dito e as teclas de atalho para que seja acionada a macro. Na Figura 15 tem-se um trecho dos códigos registrados pela gravação das macros.

Com as macros gravadas e os botões posicionados a habilitação deles partiu de uma configuração simples. Clicando com o botão direito do mouse sobre o botão posicionado na planilha, basta escolher a opção atribuir macro (Figura 16). Assim para cada botão foi escolhida a macro correspondente a sua descrição (Figura 17).

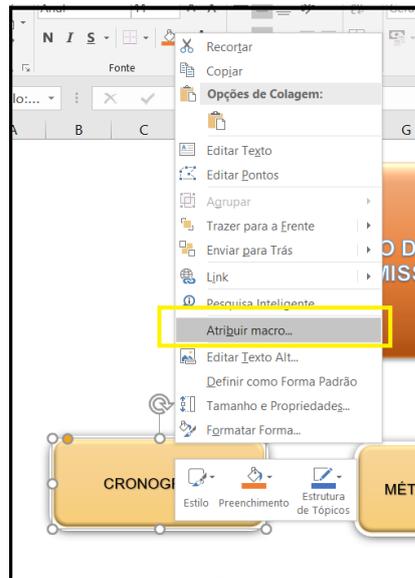
**Figura 15 - Código registrado no Editor de Códigos pela gravação das macros.**

```

Sub CRONOGRAMA ()
' CRONOGRAMA Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATE A PLANILHA CRONOGRAMA
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+C
    Sheets("CRONOGRAMA").Select
End Sub
Sub MÉTODOS TEÓRICOS ()
' MÉTODOS TEÓRICOS Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATÉ A PLANILHA MÉTODOS TEÓRICOS
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+T
    Sheets("MÉTODOS TEÓRICOS").Select
End Sub
Sub SEMIEMPÍRICO ()
' SEMIEMPÍRICO Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATE A PLANILHA SEMIEMPÍRICOS
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+S
    Sheets("SEMIEMPÍRICOS").Select
End Sub
Sub GRÁFICO ()
' GRÁFICO Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATE A PLANILHA GRÁFICOS
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+G
    Sheets("GRÁFICOS").Select
End Sub
  
```

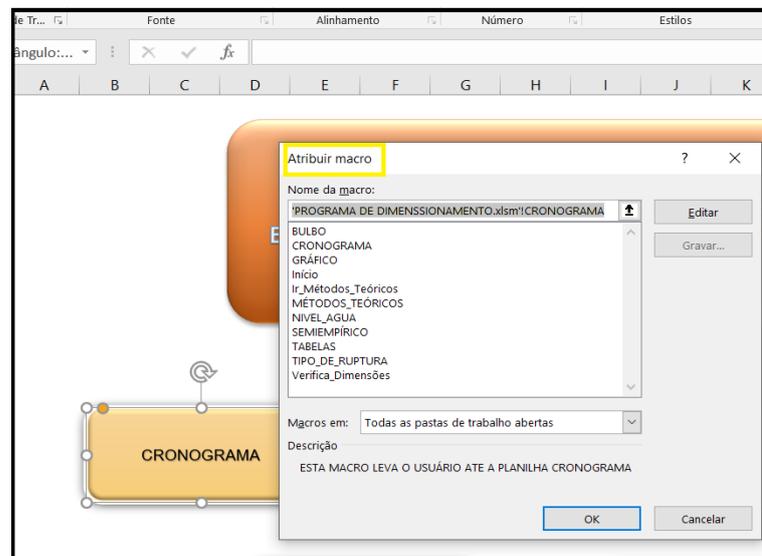
**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 16 - Atribuição da Macro gravada ao Botão Cronograma.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 17 - Janela aberta para a escolha da Macro a ser atribuída.**



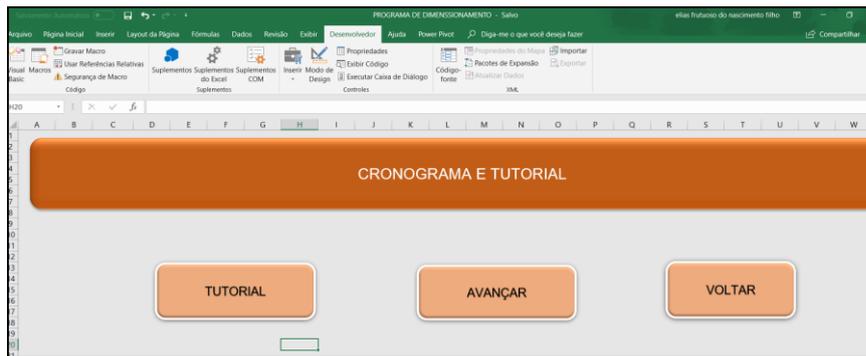
**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Para a segunda planilha, isto é, para a planilha cronograma, a programação inserida teve o objetivo de conduzir o usuário até o texto de tutorial para que em poucas palavras, o ele possa entender o passo a passo de como o programa funciona e suas características, assim como, direciona-lo para as demais planilhas e até retorna ao menu principal da planilha de Início.

Dentro desta planilha foram inseridos três botões, o primeiro é o botão Tutorial, este botão possui uma macro que conduz o usuário até a parte inferior da planilha onde está a

orientações para o do programa (Figura 21). O segundo botão possui uma macro gravada que direciona o usuário até a planilha seguinte, (MÉTODOS TEÓRICOS). O terceiro e último botão possui a macro para retorno do usuário à planilha INÍCIO. Na Figura 20 é possível observar a visão dos botões presentes na planilha. Na Figura 22 e 23 é possível visualizar o código registrado pela macro gravada e atribuída ao botão avançar e ao botão de voltar.

**Figura 18 - Visão da parte superior da planilha CRONOGRAMA.**



**Fonte: Excel, Autor (2018).**

**Figura 19 - Visão da parte inferior da Planilha CRONOGRAMA.**

<p><b>1º DADOS DE ENTRADA</b></p> <p>O usuário deve inserir os dados de entrada, todos associados as características do solo como, Ângulo de atrito (<math>\varphi</math>), Coesão (c), Peso específico do solo (<math>\gamma</math>) fatores de capacidade de carga (<math>N_c</math>, <math>N_q</math> e <math>N_y</math>) e fatores de forma (<math>S_c</math>, <math>S_q</math> e <math>S_y</math>). Em caso de influência do nível d'água subterrânea o Peso específico do solo saturado (<math>\gamma_{sat}</math>) e o Nível de Água (N.A), para este ultimo existe um botão específico. Todas as unidades devem ser inseridas com sua</p> <p><b>1.2 Parâmetro de Entrada</b></p> <p>O usuário deve inserir os dados do projeto referente as dimensões da sapata como: Cota de Assentamento (h), Menor Dimensão da sapata retangular (B), Maior Dimensão da sapata retangular (L).</p> <p>Por meio de botão programado o usuário podera definir o tipo de sapata. ao selecionar o botão uma caixa de diálogo será aberta perguntado as dimensões da sapata ao ser definido os valores apertando ok será esposto o tipo de sapata que está trbalhando: Quadrada (Q), ou Retangular (R).</p>	<p><b>2º TIPO DE RUPTURA</b></p> <p>Um botão específico acima do gráfico dos modos de ruptura terá a função de definir o tipo de ruptura que o solo irá apresentar. O usuário ao apertar o botão será questionado quanto ao valor do ângulo de atrito e a coesão, inserindo os valores na caixa de diálogo abesta o programa automaticamente retornará o tipo de ruptura do solo.</p> <p>Ruptura Generalizada Ruptura por Puncionamento Ruptura Local.</p> <p><b>3º CAPACIDADE DE CARGA</b></p> <p>Após inserir todos os dados a planilha irá efetuar o calculo da capacidade de carga segundo Os princípios dos métodos teóricos de Terzaghi/ Vésic (1943), Meyerhof (1963) e Brinch-Hansen (1961). Através de funções inseridas na composição de formulas do Excel o usuário poderar realizar os cálculos rapidamente independente do método adotado.</p>
---	---

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 20 - Código da macro inserida no botão avançar conduzindo o usuário até a planilha MÉTODOS TEÓRICOS.**

```
Sub MÉTODOS_TEÓRICOS()
'
' MÉTODOS TEÓRICOS Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATÉ A PLANILHA MÉTODOS TEÓRICOS
'
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+T
'
    Sheets("MÉTODOS TEÓRICOS").Select
End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 21 – Código da macro inserida no botão voltar para retorna até a primeira planilha INÍCIO.**

```
Sub Início()
'
' Início Macro
' Esta macro retorna ao menu inicial
'
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+I
'
    Sheets("INÍCIO").Select
End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

### 3.3 CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E TENSÃO ADMISSÍVEL

#### 3.3.1 Métodos Teóricos

A terceira planilha do programa de otimização registrada como MÉTODOS TEÓRICOS. É onde os cálculos da capacidade de carga e tensão admissível são realizados. Nela o nível da programação avança e é possível encontrar além das macros registradas sobre os botões, teremos funções e outras sub-rotinas.

A estrutura desta planilha é composta de 4 (quatro) etapas que vão desde os dados de entrada do solo até os cálculos da capacidade de carga e da tensão admissível do solo.

##### 3.3.1.1 Primeira Etapa

De início o usuário irá inserir os dados de entrada que consiste nos parâmetros do solo, nestes dados estão as presentes informações como: ângulo de atrito, coesão, pesos específicos do solo seco e saturado, assim como, a tensão suportada pelo solo e outros parâmetros extraídos

das tabelas de Vesic (1975) como os fatores de capacidade de carga e fatores de forma (Figura 23). Todos os dados colhidos na primeira etapa são imprescindíveis para que se possa de fato realizar os cálculos da Capacidade de Carga e da Tensão Admissível para três métodos abordados considerados.

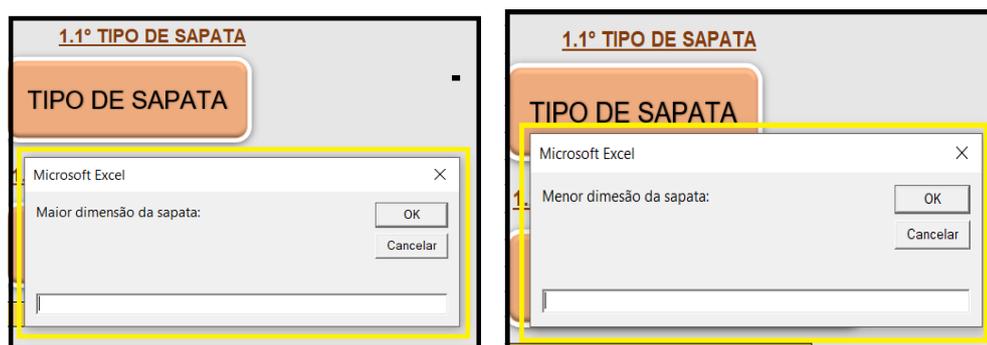
Ainda nesta primeira etapa, tem-se algumas definições que complementam a obtenção dos dados de entrada. Estas informações são alcançadas por intermédio de sub-rotinas geradas dentro do editor de códigos VBA. As informações complementares são para determinação da geometria da fundação (sapata), profundidade do bulbo de tensões e o nível de água (peso específico).

Para a geometria da sapata, um botão que recebe a sub-rotina irá operar da seguinte forma: ao ser acionado duas caixas de diálogo serão abertas questionando o usuário sobre o valor da maior e menor dimensão da sapata (Figura 22). Uma vez sabendo as dimensões da sapata é possível preencher a planilha.

Como resultado obtido com a sub-rotina do tipo de fundação, tem-se o resultado denominado “Q” quando se refere a sapata quadrada, da mesma forma o resultado “R” para sapata do tipo retangular.

A sub-rotina gerada no editor de códigos do VBA pode ser vista na Figura 24, aqui é possível observar que foi executado um laço para que a partir dos dados inseridos o programa execute as verificações e de fato, constate o tipo de sapata.

**Figura 22 - Caixas de diálogo abertas para se inserir as dimensões da sapata (a) e (b).**



**Parte (a).**

**Parte (b).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Figura 23 - Primeira etapa da planilha MÉTODOS TEÓRICOS.

**AVANÇAR**

**1º DADOS DE ENTRADA**

PARÂMETROS DO SOLO		PARÂMETROS DO SOLO	
$\phi$ (graus)	0	Nc	0,00
$\phi'$ (graus)	0,00	Nq	0,00
		Ny	0,00
c (kPa)	0,00	Nc/Nq	0,00
c' (Kpa)	0,00		
		Nc'	0,00
$\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> )	0,00	Nq'	0,00
$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	-10,00	Ny'	0,00
Y (kN/m <sup>2</sup> )	10,00	Nc'/Nq'	0,00
Y2(kN/m <sup>2</sup> )	0,00		
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	0,00	Sc	0,00
		Sq	0,00
N.A. (m)	0,00	Sy	0,00
q' (Kpa)	0,00		
q (Kpa)	0,00	Sc'	0,00
Nspt	0,00	Sq'	0,00

INÍCIO | CRONOGRAMA | **MÉTODOS TEÓRICOS** | SEMIEMPIRICOS | GRÁFICOS | TABELAS

Fonte: Excel, Autor (2018)

Figura 24 - Sub-rotina gerada para a determinação das dimensões da sapata.

```
(Geral) Verifica_Dimensões
Sub Verifica_Dimensões()
'ESTA MACRO TESTA O TIPO DE SAPATA QUANTO A SER RETANGULAR OU QUADRA.

Dim B As Double
Dim h As Double

B = InputBox("Maior dimensão da sapata: ")
h = InputBox("Menor dimensão da sapata: ")

If (B = h) And (B <> 0) And (h <> 0) Then
    MsgBox " A Sapata é: " & "Q"
Else
End If

If (B <> h) And (B <> 0) And (h <> 0) Then
    MsgBox " A Sapata é: " & "R"
Else
End If

If (B = 0) And (h = 0) Then
    MsgBox " Precisa Redimensionar"
Else
End If

End Sub
```

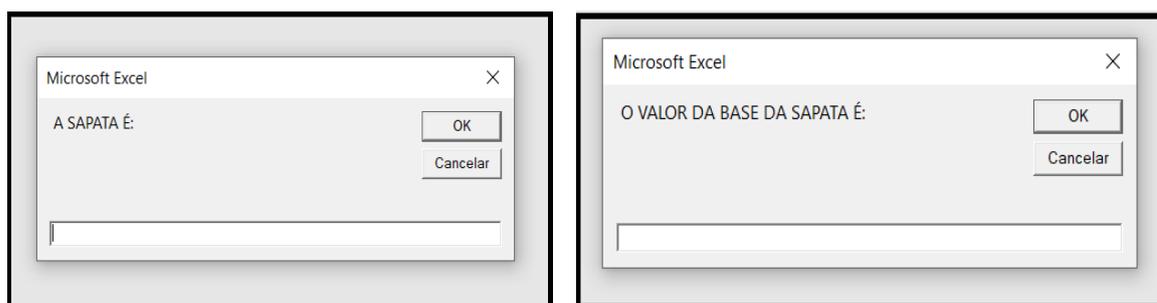
Fonte: Excel, Autor (2018)

Para a determinação da profundidade do Bulbo de Tensões a sub-rotina gerada depende diretamente do tipo de sapata em que se pretende trabalhar, ou seja, para que essa sub-rotina seja acionada é preciso saber se a sapata é retangular ou quadrada (Figura 29a).

Sabendo as dimensões da fundação ao se acionar o botão duas caixas de diálogo serão abertas, a primeira solicita o tipo de sapata (Q ou R) e a segunda o valor de sua base (Figura 29b).

O bulbo de tensões influencia diretamente nos cálculos da capacidade de carga, ele está associado a estratificação do solo, ou seja, as camadas que o solo é composto. De fato, o bulbo de tensões é a região em que as tensões do solo são transmitidas para que se possa a partir de sua profundidade encontrar as camadas mais resistentes do solo em que a sapata está assentada. Na Figura 30 temos a visualização da sub-rotina gerada para o botão do bulbo de tensões.

**Figura 25 - Caixas de diálogo solicitando o tipo de sapata (a) e (b).**



**Parte (a).**

**Parte (b).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 26 - Código da sub-rotina do Bulbo de Tensões.**

```
Sub BULBO ()
' ESTE SUB TRECHO DE CÓDIGO DETERMINARÁ A EXTENSÃO DO BULBO DE TENSÕES

Dim Z As Integer
Dim TIPO_DE_SAPATA As String
Dim B As Integer

'ONDE Z CORRESPONDE À PROFUNDIDADE DO BULBO DE TENSÕES

TIPO_DE_SAPATA = InputBox(" A SAPATA É: ")
B = InputBox(" O VALOR DA BASE DA SAPATA É: ")

    If TIPO_DE_SAPATA = "Q" Then
        MsgBox " Z = 2 * B"
    Else
    End If

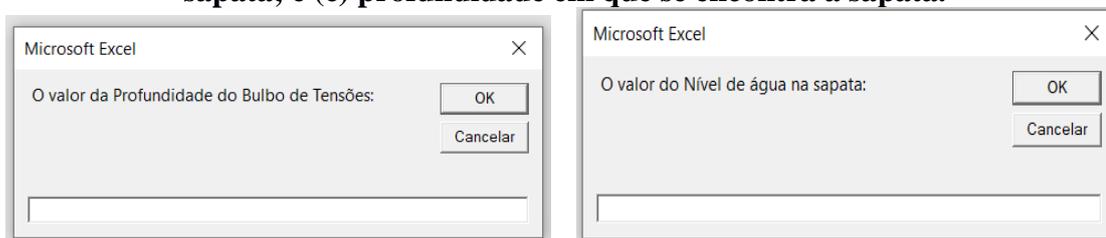
    If TIPO_DE_SAPATA = "R" Then
        MsgBox " Z = 3 * B"
    Else
    End If

End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Para a determinação do peso específico a ser usado no cálculo da capacidade de carga é necessário compreender a influência do nível de água e do bulbo de tensões sobre a sapata, isto é, sobre a situação em que ela se encontra, com isso uma sub-rotina foi criada cujos os dados de entrada são inseridos em três caixas de diálogo. A primeira solicita a profundidade do bulbo de tensões, a segunda o valor do nível de água e pôr fim a profundidade em que a sapata se encontra (Figura 31a, 31b, 31c). Na Figura 32 temos o código da sub-rotina gerada para o botão nível de água.

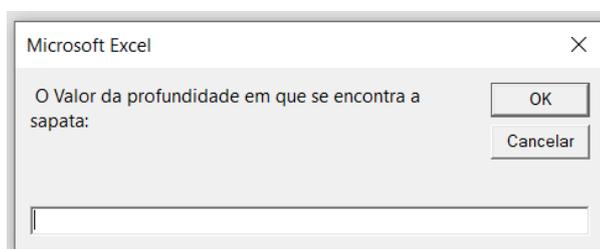
**Figura 27 - Caixas de diálogo: (a) profundidade de bulbo de tensões, (b) nível d'água na sapata; e (c) profundidade em que se encontra a sapata.**



**Parte (a).**

**Parte (b).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**



**Parte (c).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 28 - Código da sub-rotina da determinação do peso específico a ser usado.**

```

Sub NIVEL_AGUA()
|
'ESTE TRECHO DE CÓDIGO REALIZA UMA ANÁLISE DO NÍVEL D'AGUA COMO INFLUÊNCIA NO PESO ESPECÍFICO

Dim NA As Integer
Dim h As Integer
Dim Yt As Double
Dim Ysat As Double
Dim Ym As Double
Dim yagua As Integer
Dim Z As Integer

Z = InputBox(" O valor da Profundidade do Bulbo de Tensões: ")
NA = InputBox(" O valor do Nivel de água na sapata: ")
h = InputBox(" O Valor da profundidade em que se encontra a sapata: ")

    If NA = h And NA < Z Then
        MsgBox " O PESO ESPECÍFICO A SER USADO SERÁ: (Ysat - yagua)"
    Else
    End If

End If

    If NA > h And NA < Z Then
        MsgBox " O PESO ESPECÍFICO A SER USADO SERÁ: Ym = Peso Específico Médio"
    Else
    End If

End If

    If NA > h And NA > Z Then
        MsgBox " O PESO ESPECÍFICO A SER USADO SERÁ A MÉDIA: Yt"
    Else
    End If

End If

End Sub

```

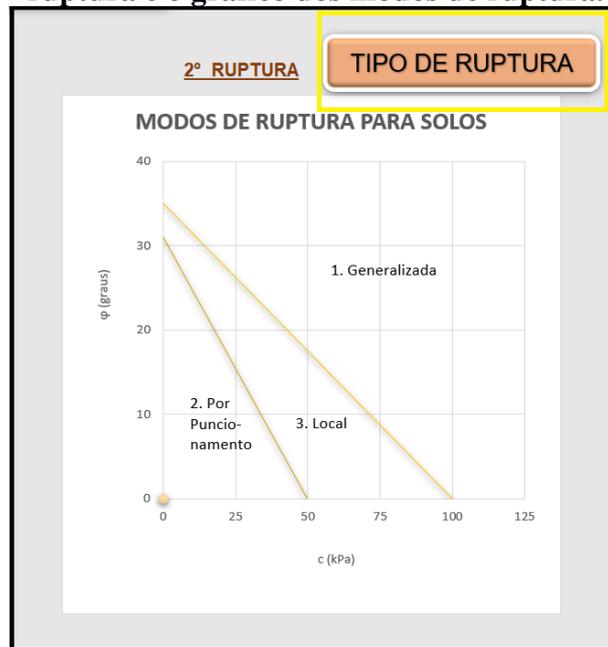
**Fonte: Excel, Autor (2018)**

### 3.3.1.2 Segunda Etapa

Na segunda etapa a determinação do tipo de ruptura do solo é obtida por um botão programado posicionado acima do gráfico de tipo de ruptura, auxiliando o usuário na compreensão do resultado (Figura 29). O botão possui uma sub-rotina programada para que o usuário insira os valores do ângulo de atrito e da coesão e retorne com base no gráfico o tipo de ruptura do solo. Basicamente ao apertar o botão duas caixas de diálogo são abertas ao usuário. A primeira delas pergunta ao usuário o valor do ângulo de atrito (Figura 30a), a segunda o valor da coesão (Figura 30b).

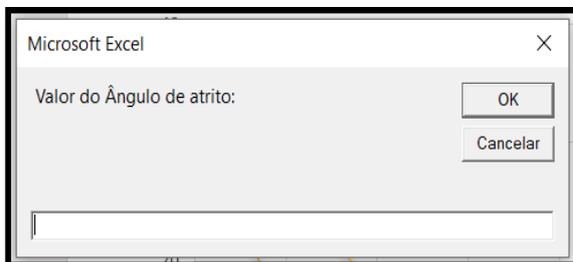
Dependendo dos valores do ângulo de atrito e da coesão inserido o programa, retornará as três opções de ruptura do solo, Generalizada, Local e por Puncionamento. Ainda na Figura 31 é possível observar a sub-rotina programada sobre o editor de códigos do VBA.

**Figura 29 - Segunda etapa da planilha de MÉTODOS TEÓRICOS, botão do tipo de ruptura e o gráfico dos modos de ruptura.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 30 - Caixas de diálogo (a) e (b).**



**Parte (a).**



**Parte (b).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 31 - Sub-rotina gerada para a determinação do tipo de ruptura do solo.**

```

Sub TIPO_DE_RUPTURA()
'ESTA MACRO VERIFICA O TIPO DE RUPTURA DO SOLO.

Dim GERAL As String
Dim FUNCIONAMENTO As String
Dim R_LOCAL As String
Dim ÂNGULO_ATRITO As Integer
Dim COESÃO As Integer

ÂNGULO_ATRITO = InputBox(" Valor do Ângulo de atrito: ")
COESÃO = InputBox(" Valor da Coesão: ")

GERAL = GERAL
FUNCIONAMENTO = FUNCIONAMENTO
R_LOCAL = RUPTURA_LOCAL

If (ÂNGULO_ATRITO >= 35) And (ÂNGULO_ATRITO <= 40) And (COESÃO >= 25) And (COESÃO <= 125) Then
    MsgBox " A RUPTURA SERÁ DO TIPO: " & "GERAL"

Else

End If

End If

If (ÂNGULO_ATRITO > 30) And (ÂNGULO_ATRITO <= 35) And (COESÃO >= 50) And (COESÃO <= 100) Then
    MsgBox " A RUPTURA SERÁ DO TIPO: " & "R_LOCAL"

Else

End If

End If

If (ÂNGULO_ATRITO >= 0) And (ÂNGULO_ATRITO <= 30) And (COESÃO >= 0) And (COESÃO <= 50) Then
    MsgBox " A RUPTURA SERÁ DO TIPO: " & "FUNCIONAMENTO"

Else

End If

End Sub

```

**Fonte: Excel, Autor (2018).**

### 3.3.1.3 Terceira Etapa

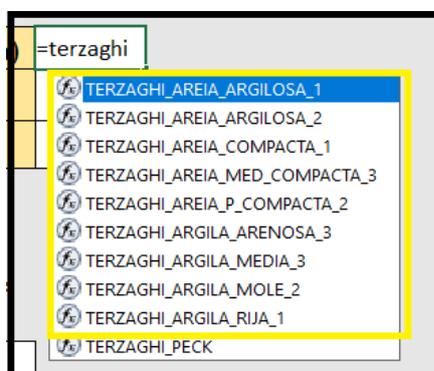
A terceira etapa presente na planilha de MÉTODOS TEÓRICOS é a parte que agrega maior importância, uma vez que é nesse momento em que vai se realizar o cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível.

Para isso foi realizado funções específicas levando em consideração os três nomes de referência para o cálculo destes parâmetros do solo, pelo qual, este trabalho se propõe: TERZAGHI/VESIC (1975), MEYERHOF (1963) e BRINCH-HANSEN (1961). A princípio, o primeiro deles consiste no modelo Vesic de 1975 que nada mais é que a evolução do modelo de Terzaghi de 1943, que para efeito de entendimento foi usado a nomenclatura como apresentado anteriormente. Entre todos modelos citados acima o que difere entre eles é a expressão do cálculo da capacidade de carga, uma vez que cada um adota princípios particulares baseados nos parâmetros do solo inseridos na primeira etapa desta planilha.

É importante entender que para cada um dos teóricos foi realizado funções específicas e que o modelo de Terzaghi/Vesic foi aquele que recebeu o maior número de funções programadas, isto se deve pelo fato de sua maior aplicação em diferentes tipos de solos e por ser o modelo de maior usabilidade no Brasil.

As funções geradas para o modelo de Terzaghi/Vesic foram estabelecidas para cada tipo de solo e como esta irá se romper (ruptura generalizada, local ou por punção), assim temos as seguintes funções programadas: para areia argilosa, areia compacta, areia mediamente compacta, areia pouco compacta, argila arenosa, argila media, argila mole, argila (Figura 32). Cada função anterior gerada apresenta uma nomenclatura específica e seu uso na planilha ocorre da mesma forma que qualquer função padrão do Excel. Na Figura 33 temos acesso ao código das funções programadas.

**Figura 32 – Conjunto de funções referentes ao modelo de Terzaghi/Vesic.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 33 - Código de parte das funções geradas.**

```
Public Function TERZAGHI_AREIA_ARGILOSA_1(c, Nc, Sc, q, Nq, Sq, Y, B, Ny, Sy)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA SEGUNDO,
'O MÉTODO DE TERZAGHI PARA AREIA ARGILOSA COM RUPTURA GERAL
TERZAGHI_AREIA_ARGILOSA_1 = (c * Nc * Sc) + (q * Nq * Sq) + (0.5 * Y * B * Ny * Sy)
End Function

Public Function TERZAGHI_ARGILA_MOLE_2(ç, Nç, Sç, P, Np, Sp)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA SEGUNDO,
'O MÉTODO DE TERZAGHI PARA ARGILA MOLE COM RUPTURA POR PUNÇIONAMENTO.
TERZAGHI_ARGILA_MOLE_2 = (ç * Nç * Sç) + (P * Np * Sp)
End Function

Public Function TERZAGHI_AREIA_P_COMPACTA_2(P, Np, Sp, t, B, NT, St)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA SEGUNDO,
'O MÉTODO DE TERZAGHI PARA AREIA POUCO COMPACTA COM RUPTURA POR PUNÇIONAMENTO.
TERZAGHI_AREIA_P_COMPACTA_2 = (P * Np * Sp) + (0.5 * t * B * NT * St)
End Function

Public Function TERZAGHI_AREIA_ARGILOSA_2(ç, Nç, Sç, P, Np, Sp, t, B, NT, St)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA SEGUNDO,
'O MÉTODO DE TERZAGHI PARA AREIA ARGILOSA COM RUPTURA POR PUNÇIONAMENTO.
TERZAGHI_AREIA_ARGILOSA_2 = (ç * Nç * Sç) + (P * Np * Sp) + (0.5 * t * B * NT * St)
End Function
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Importante observar é que o tipo de ruptura do solo é descrito no nome da função juntamente com o tipo de solo em que a fundação se encontra. Logo, se o nome da função for “TERZAGHI\_AREIA\_ARGILOSA\_1”, significa que o modelo de cálculo da capacidade de carga é o de Terzaghi, o solo em que a sapata está é uma areia argilosa e o número 1 indica que o tipo de ruptura que para o caso é generalizada, da mesma forma se se a função for “TERZAGHI\_AREIA\_P\_COMPACTA\_2” é o mesmo que dizer que a o solo em questão é uma areia pouco compacta e que a ruptura do solo é do tipo local.

Além do nome da função existe uma descrição sucinta do objetivo pela qual ela funcionará, assim como, a equação que rege seu funcionamento. Como se trata de uma função, o início e fim deve ser estabelecido pelos parâmetros citados anteriormente (Public Function e End Function).

Uma observação pertinente é que dentro do VBA, precisamente dentro do editor de códigos, as cores das letras indicam características diferentes. Ao se iniciar frases dentro do editor de códigos com o caractere (‘) as cores das letras ficam verdes o que significa que o que se está escrevendo é apenas um comentário e não gera influência no que está sendo programado. Da mesma forma se as cores das letras são azuis significa que se trata de uma palavra-chave da linguagem de programação, isto é, início de procedimento, funções e sub-rotinas. Logo, a cor preta indica que os caracteres são os responsáveis pela programação e a cor vermelha um possível erro de programação.

Ao escolher uma das opções de funções de Terzaghi (de acordo com a necessidade de projeto) o usuário só precisa acionar os parâmetros do solo presentes na primeira etapa da planilha (MÉTODOS TEÓRICOS), (Figura 23). Como se trata de uma função cada parâmetro deve ser separado por ponto e vírgula e após selecionado as células que carregam os valores das variáveis o usuário fecha a operação com parênteses e dar Enter para executar a função chamada.

Para o método de BRINCH-HANSEN (1961) a função gerada dentro do leitor de códigos segue a mesma linha de raciocínio do que foi descrito para o método anterior, a diferença é que aqui temos apenas uma única função executada e que para ela os parâmetros do solo são obtidos por equações demonstradas nas Figuras abaixo. Além destes existem parâmetros extras e próprios do solo que precisam ser preenchidos pelo o usuário para que este método possa ser usado no cálculo da capacidade de carga. O método de Brinch–Hasen leva em consideração dois efeitos da capacidade de carga. O primeiro é o aumento da capacidade de carga devido a uma maior profundidade de assentamento em que se encontra a sapata. E segundo é a diminuição da capacidade de carga devido a cargas inclinadas. Sendo assim,

conforme verificado na Figura 34, é preciso introduzir na equação da capacidade de carga de Brinch-Hansen parâmetros chamados de fatores de profundidade ( $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_y$ ) e os fatores de inclinação ( $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_y$ ). Com a função selecionada basta inserir os parâmetros e confirmar para que a operação seja realizada proporcionando ao usuário um ganho de tempo considerável. O código gerado para a execução da função segue na Figura 35).

**Figura 34 - Quadro com os fatores de profundidade e inclinação.**

BRINCH-HANSEN (1961)		DIFERENTES COTAS	
<b>dc</b>	1,080	1,24	1,40
<b>dq</b>	1,04	1,13	1,21
<b>dy</b>	1	1,00	1,00
<b>ic</b>	1,00	1,00	1,00
<b>iq</b>	1,00	1,00	1,00
<b>iy</b>	1,00	1,00	1,00
<b>Nc</b>	75,500	75,50	75,50
<b>Nq</b>	64,400	64,60	64,40
<b>Ny</b>	79,884	79,88	79,88
<b>Sc</b>	1,850	1,85	1,85
<b>Sq</b>	1,640	1,64	1,64
<b>Sy</b>	0,600	0,60	0,60

Fonte: Excel, Autor (2018)

**Figura 35 - Equações para obtenção dos parâmetros do solo.**

	$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$	$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin \phi$	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$
<b>Brinch-Hansen (1961)</b>	$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$	$s_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}; \phi \neq 0$	$d_c = 1 + 0,4k; \phi \neq 0$
		$s_c = 0,2 \frac{B}{L}; \phi = 0$	$d_c = 0,4k; \phi = 0$
	$N_y = 1,5(N_q - 1) \tan \phi$	$s_y = 1 - 0,4 \frac{B}{L} \geq 0,6$	$d_y = 1$

Fonte: OLIVEIRA E AMÂNCIO (2016)

**Figura 36 - Código da função de Brinch - Hansen.**

```
Public Function BRINCH_HANSEN(c, Nc, Sc, dc, ic, q, Nq, Sq, dq, iq, B, Y, Ny, Sy, dy, iy)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA SEGUNDO OS PRINCÍPIOS TEÓRICOS DE BRINCH HANSEN.
BRINCH_HANSEN = (c * Nc * Sc * dc * ic) + (q * Nq * Sq * dc * ic) + (0.5 * B * Y * Ny * Sy * dy * iy)
End Function
```

Fonte: Excel, Autor (2018)

Para o último método teórico considerado, o método de MEYERHOF (1963), o princípio de programação segue de forma semelhante trazendo apenas as particularidades da expressão para capacidade de carga. Meyerhof leva em consideração a resistência do solo acima da base da fundação e para fundamentar a sua equação da capacidade de carga ele presou pelos trabalhos de Prandtl (1920) e Reissner (1924) e Ohde (1938) para material sem peso e considerando o peso do solo.

Os parâmetros usados são os mesmos de Terzaghi com apenas a particularidade de considerar um peso do solo acima. Seu código de programação pode ser visualizado na Figura 37.

**Figura 37 - Código de programação da função.**

```
Public Function MEYERHOF(c, Nc, q, Nq, y, Ny, B)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA USANDO O MÉTODO TEÓRICO D EMEYERHOF
MEYERHOF = (c * Nc) + (q * Nq) + (0.5 * B * y * Ny)
End Function
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

#### 3.3.1.4 Quarta Etapa

A quarta e última parte que compõem a planilha de MÉTODOS TEÓRICOS é a do cálculo da tensão admissível. Foi estabelecido um fator de segurança de 3,0, segundo as orientações da NBR 6122/2010 referente a geração de projetos e execução de fundações.

A programação constituída no editor de códigos do VBA foi gerada para ser aplicada para qualquer método teórico (Figura 39). O que torna simples e ao mesmo tempo funcional o cálculo da tensão admissível. Na Figura 38 temos a parte da planilha reservada para a execução desta função.

**Figura 38 - Quadro da 3ª e 4ª etapa da planilha, cálculo da tensão admissível.**

<b>3º CAPACIDADE DE CARGA</b>			
	1ªCota/N.A	2ªCota/N.A	3ªCota/N.A
TERZAGHI/VESIC (1975) (1943) (Kpa)	4930,95025	5396,8545	3999,14175
MEYERHOF (1963)	5930,12031	6593,60364	4603,15364
BRINCH-HANSEN (1961)	3860,10878	4311,66096	3625,94083

<b>4º TENSÃO ADMISSÍVEL</b>			
<b>FS</b>	3		
	1ªCota/N.A	2ªCota/N.A	3ªCota/N.A
TERZAGHI (1943)	1643,65008	1798,9515	1333,04725
MEYERHOF (1963)	1976,70677	2197,86788	1534,38455
BRINCH-HANSEN (1961)	1286,70293	1437,22032	1208,64694

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 39 - Código registrado no editor de códigos VBA para o cálculo da Tensão Admissível.**

```
Public Function TENSÃO_ADMISSIVEL(FS, CAP_CARGA)
'ESTA FUNÇÃO FAZ O CÁLCULO DA TENSÃO ADMISSÍVEL BASEADO EM UM FATOR DE SEGURANÇA E NA CAPACIDADE DE CARGA DOS MÉTODOS.

FS = 3

TENSÃO_ADMISSIVEL = CAP_CARGA / FS

End Function
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

### 3.3.2 Métodos semiempíricos

Avançando para a quarta planilha do programa assim definida como MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS, encontra-se uma outra forma de obter o valor da tensão admissível. Para isso foi tomado os métodos de TERZAGHI E PECK (1967), MEYERHOF (1965) e TEIXEIRA (1966).

Como em todas as planilhas anteriores que fazem parte da composição deste programa de otimização, botões com macros foram gerados para que o usuário caminhe entre as planilhas de uma forma intuitiva e eficiente. Aqui é possível encontrar os botões de avançar, início, voltar ao início e o botão que determina o tipo de sapata (dimensão), para que as funções usadas sejam justificadas. Os botões de avançar conduz o usuário até a planilha gráficos, o botão de voltar conduz o usuário até planilha anterior (MÉTODOS TEÓRICOS), o botão de voltar início

conduz o usuário até a primeira planilha e o botão tipo de sapata segue o que já foi demonstrado anteriormente.

### 3.3.2.1 Primeira Etapa

A primeira etapa que compõem esta planilha é o preenchimento dos dados de entrada. Os dados usados para o cálculo são as dimensões da sapata (B, L) o N<sub>spt</sub> do solo investigado a partir do ensaio SPT (Sondagem a percussão) e o parâmetro de projeto padm (recalque admissível do solo) divididos em três partes como mostrado abaixo.

**Figura 40 – Visão da planilha MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS.**

**1º DADOS DE ENTRADA**

Nspt p/Cotas	30,00
	30,00
	30,00

**2º TENSÃO ADMISSÍVEL**

	1ª Cota	2ª Cota	3ª Cota
TERZAGHI E PECK (1967)	712,8	712,8	712,8
MEYERHOF (1965)	900	900	900
TEIXEIRA (1966)	950	950	950

**1.2º GEOMETRIA DA FUNDAÇÃO**

B (m)	5
L (m)	5

**1.3 PARÂMETROS DE PROJETO**

padm	25
------	----

Fonte: Excel, Autor (2018)

### 3.3.2.2 Segunda Etapa

A segunda etapa consiste basicamente em executar as funções específicas para cada teórico. Para Terzaghi e Peck (1967), ao chamar a função na célula basta seguir o raciocínio já apresentado, escolhesse o dado de entrada e um dos parâmetros do solo e confirmar para que o cálculo seja realizado. Para Meyerhof (1965), a diferença está apenas na expressão principal que leva em consideração o parâmetro de projeto que é o recalque. Para Teixeira (1996) segue a mesma linha de raciocínio com a particularidade de sua equação para o cálculo da capacidade

de carga. Nas Figuras 41, 42 e 43 temos os códigos das funções para Terzaghi e Peck, Meyerhof e Teixeira.

**Figura 41 - Código da função: (a) Terzaghi e Peck; (b) Meyerhof. (1965); (c) Teixeira (1996)**

(a)

```
Public Function TERZAGHI_PECK(Nspt, B)
|
'ESTA FUNÇÃO CALCULA A TENSÃO ADMISSÍVEL ATRAVÉS DO MÉTODO SEMIEMPÍRICO DE TERZAGHI E PECK.
TERZAGHI_PECK = 100 * 4.4 * (Nspt - 3) / 10 * (B + 1) / (2 * B)
End Function
```

(b)

```
Public Function MEYERHOF_SEMI_EMPÍRICO(Nspt, padm, B)
'ESTA FUNÇÃO EXECUTA O CÁLCULO DA TENSÃO ADMISSÍVEL| MEDIANTE MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS]
MEYERHOF_SEMI_EMPÍRICO = (10 * Nspt * padm / 12) * ((B + 1) / B) ^ 2
End Function
```

(c)

```
Public Function TEIXEIRA(Nspt, B)
' ESTA FUNÇÃO CALCULA A TENSÃO ADMISSÍVEL ATRAVÉS DO MÉTODO SEMIEMPÍRICO DE TEIXEIRA.
TEIXEIRA = 0.05 + (1 + 0.04 * B) * Nspt / 100
End Function
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

### 3.4 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Na planilha de GRÁFICOS, tem-se uma parte de grande destaque do programa de otimização, após navegar por todas as planilhas e conseguir calcular a capacidade de carga e a tensão admissível por métodos teóricos e semi-empíricos o usuário tem a possibilidade de comparar os resultados graficamente o que lhe permite optar por qualquer um dos métodos de cálculo, assim como, visualizar a dispersão entre os valores para um mesmo estudo de caso abordado entre eles.

Os gráficos são gerados automaticamente quando os valores da capacidade de carga e da tensão admissível são preenchidos nas planilhas anteriores. Basicamente nesta planilha o usuário só interage com os botões de navegação “AVANÇAR”, “VOLTAR A PLANILHA ANTERIOR” e “VOLTAR AO INÍCIO DO PROGRAMA”. Os botões são programados com

macros gravadas, assim, o botão de avançar possui a macro que lhe direciona para a planilha seguinte (nesse caso macro TABELAS) da mesma forma para os botões de voltar (macro SEMIEMPÍRICOS) e voltar ao início (macro INÍCIO). É o que podemos observar nas figuras abaixo onde temos os códigos registrados de cada macro.

**Figura 42 - Macro usado no botão de Avançar.**

```
Sub TABELAS ()
'
' TABELAS Macro
' ESTA MACRO DIRECIONA O USUÁRIO ATÉ A PLANILHA TABELAS
'
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+W
'
    Sheets("TABELAS").Select
End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 43 - Macro usada no botão de Voltar.**

```
Sub SEMIEMPÍRICO()
'
' SEMIEMPÍRICO Macro
' ESTA MACRO LEVA O USUÁRIO ATE A PLANILHA SEMIEMPÍRICOS
'
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+S
'
    Sheets("SEMIEMPÍRICOS").Select
End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

**Figura 44 - Macro usada no botão de Voltar ao Início.**

```
Sub Início()
'
' Início Macro
' Esta macro retorna ao menu inicial
'
' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+I
'
    Sheets("INÍCIO").Select
End Sub
```

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

A planilha de GRÁFICOS é formada por duas etapas que são preenchidas automaticamente. Elas são divididas de acordo com o método utilizado, sendo assim, na primeira etapa os valores da capacidade de carga calculados na planilha MÉTODOS TEÓRICOS e na segunda etapa os valores da tensão admissível encontrados tanto na planilha MÉTODOS TEÓRICOS como na SEMIEMPÍRICOS (Figura 45).

Nesta planilha oito gráficos são gerados. Os três primeiros são configurados para receber os dados levantados para um mesmo caso. Os demais são aplicados para comparar os valores de três casos referentes as variações de cota de assentamento da sapata e do nível d'água. Todos os gráficos são do tipo barra e possuem um título de identificação com legendas descrevendo o método e para cada barra existe a identificação do teórico que de fato, foi usado para o cálculo tanto da capacidade de carga, como da tensão admissível demonstrado nas Figuras 46a, 45b e 46c, assim com, nas Figura 47a, 47b, 47c, 47d e 47e.

**Figura 45 - Etapas da planilha GRÁFICOS.**

1. CAPACIDADE DE CARGA (kPa)				
		h = 1	h = 3	h = 5
		N.A = 5	N.A = 7	N.A = 1
MÉTODOS TEÓRICOS	TERZAGHI (1943)	4931	5396,9	3999,14175
	MEYERHOF (1963)	5930,1	6593,6	4603,153639
	BRINCH-HANSEN (1961)	3860,1	4311,7	3625,940832
2º TENSÃO ADMISSÍVEL				
		h = 1	h = 3	h = 5
		N.A = 5	N.A = 7	N.A = 1
MÉTODOS TEÓRICOS	TERZAGHI (1943)	1643,7	1799	1333,04725
	MEYERHOF (1963)	1976,7	2197,9	1534,384546
	BRINCH-HANSEN (1961)	1286,7	1437,2	1208,646944
SEMI- EMPÍRICOS	TERZAGHI E PECK (1967)	712,8	712,8	712,8
	MEYERHOF (1965)	900	900	900
	TEIXEIRA (1996)	950	950	950

Fonte: Excel, Autor (2018)

**Figura 46 - Gráficos para comparação de resultados para um mesmo caso (a), (b) e (c).**

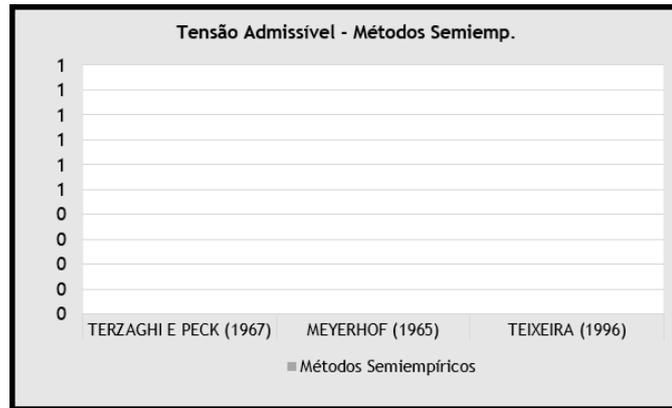


**Parte (a).**



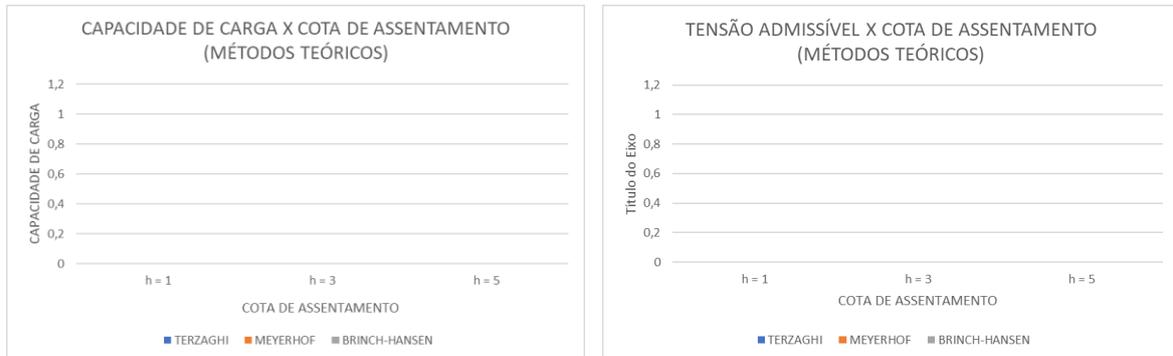
**Parte (b).**

**Parte (c).**



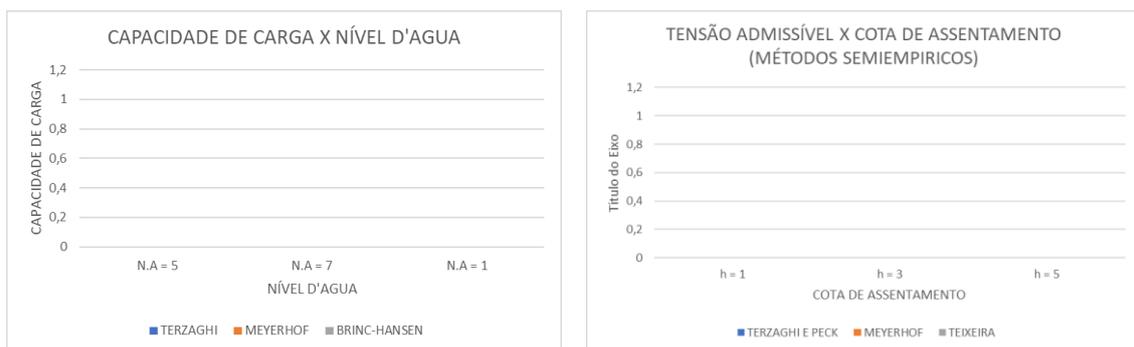
Fonte: Excel, Autor (2018)

**Figura 47 - Gráfico de comparação para três casos, (a), (b), (c), (d) e (e).**



**Parte (a).**

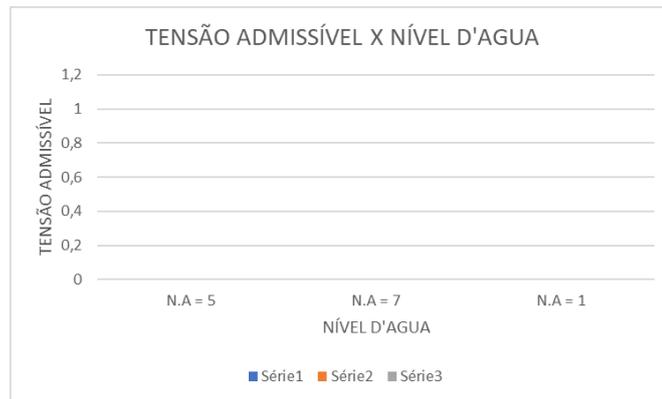
**Parte (b).**



**Parte (c).**

**Parte (d).**

Fonte: Excel, Autor (2018)

**Parte (e).**

**Fonte: Excel, Autor (2018)**

### 3.5 TABELAS DE AUXÍLIO

A última planilha do programa de otimização é composta por um conjunto de tabelas extraídas do livro Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010). Elas possuem o objetivo de proporcionar ao usuário otimização de tempo, uma vez que dentro do próprio programa o usuário poderá extrair boa parte dos dados de entrada. A planilha é composta apenas de um único botão para retorno do usuário a planilha de início. Abaixo temos algumas das principais tabelas e Figuras das equações usadas como auxílio ao usuário.

**Figura 48 - Tabela dos fatores de forma usados por Terzaghi.**

TAB. 2.1 Fatores de forma de Terzaghi-Peck			
Sapata	$S_c$	$S_q$	$S_\gamma$
Corrida (lado B)	1	1	1
Quadrada (B = L)	1,2	1	0,8
Circular (B = diâmetro)	1,2	1	0,6

**Fonte: Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

**Tabela 5 - Parte da tabela dos fatores de carga de Vesic, 1975.**

**TAB. 2.2** Fatores de capacidade de carga (Vesic, 1975)

$\phi$ °	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\text{tg } \phi$	$\phi$ °	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\text{tg } \phi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00	26	22,25	11,85	12,54	0,53	0,49
1	5,38	1,09	0,07	0,20	0,02	27	23,94	13,20	14,47	0,55	0,51
2	5,63	1,20	0,15	0,21	0,03	28	25,80	14,72	16,72	0,57	0,53
3	5,90	1,31	0,24	0,22	0,05	29	27,86	16,44	19,34	0,59	0,55
4	6,19	1,43	0,34	0,23	0,07	30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09	31	32,67	20,63	25,99	0,63	0,60
6	6,81	1,72	0,57	0,25	0,11	32	35,49	23,18	30,22	0,65	0,62
7	7,16	1,88	0,71	0,26	0,12	33	38,64	26,09	35,19	0,68	0,65
8	7,53	2,06	0,86	0,27	0,14	34	42,16	29,44	41,06	0,70	0,67
9	7,92	2,25	1,03	0,28	0,16	35	46,12	33,30	48,03	0,72	0,70
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18	36	50,59	37,75	56,31	0,75	0,73
11	8,80	2,71	1,44	0,31	0,19	37	55,63	42,92	66,19	0,77	0,75
12	9,28	2,97	1,69	0,32	0,21	38	61,35	48,93	78,03	0,80	0,78
13	9,81	3,26	1,97	0,33	0,23	39	67,87	55,96	92,25	0,82	0,81
14	10,37	3,59	2,29	0,35	0,25	40	75,31	64,20	109,41	0,85	0,84
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27	41	83,86	73,90	130,22	0,88	0,87

**Fonte: Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

**Tabela 6 - Tabela de fatores de forma de Beer, 1967 e Vesic, 1975.**

**TAB. 2.3** Fatores de forma (De Beer, 1967, *apud* Vesic, 1975)

Sapata	$S_c$	$S_q$	$S_\gamma$
Corrida	1,00	1,00	1,00
Retangular	$1 + (B/L) (N_q/N_c)$	$1 + (B/L) \text{tg } \phi$	$1 - 0,4 (B/L)$
Circular ou Quadrada	$1 + (N_q/N_c)$	$1 + \text{tg } \phi$	0,60

**Fonte: Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

**Tabela 7 – Tabela com o peso específico para solos argilosos.**

**TAB. 2.4** Peso específico de solos argilosos (Godoy, 1972)

$N_{spt}$	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
≤ 2	Muito Mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

**Fonte: Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

**Tabela 8 – Tabela com o peso específico para solos arenosos.**

**TAB. 2.5** Peso específico de solos arenosos (Godoy, 1972)

$N_{spt}$	Compacidade	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
		Areia seca	Úmida	Saturada
< 5	Fofa			
5 - 8	Pouca Compacta	16	18	19
9 - 18	Medianamente Compacta	17	19	20
19 - 40	Compacta			
> 40	Muito Compacta	18	20	21

**Fonte: Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

**Figura 49 – Formulações para os métodos semiempíricos.**

**TABELA 4:** Formulações para os métodos semiempíricos.

Autor	Formulação
Terzaghi e Peck (1967)	$\sigma_{adm} = 440 \left( \frac{N_{SPT} - 3}{10} \right) \left( \frac{B + 1}{2B} \right)$
Meyerhof (1965)	$\sigma_{adm} = \frac{10 \cdot N_{SPT} \cdot \rho_{adm}}{12} \left( \frac{B + 1}{B} \right)^2$
Teixeira (1996)	$\sigma_{adm} = 50 + (1 + 0,4B)10N_{SPT}$

**FONTE:** adaptada de Noguchi (2012).

**Fonte: Adaptada de Noguchi (2012)**

### 3.6 APRESENTAÇÃO DAS PLANILHAS DO PROGRAMA

A seguir temos uma sequência de Figuras das planilhas constituintes do programa.

- Planilha 1 INÍCIO (Figura 14);
- Planilha 2 CRONOGRAMA (Figura 50);
- Planilha 3 MÉTODOS TEÓRICOS (Figura 51);
- Planilha 4 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS (Figura 40);
- Planilha 5 GRAFICOS (Figura 52);
- Planilha 6 TABRLAS (Figura 53).

**Figura 50 – Visão geral da planilha CRONOGRAMA.**



**Fonte: Excel, Autor (2018)**

Figura 51 – Visão geral da planilha MÉTODOS TEÓRICOS.

AVANÇAR
VOLTAR
VOLTAR AO INÍCIO

**1.º DADOS DE ENTRADA**

**PARÂMETROS DO SOLO**

φ (graus)	40
δ (graus)	32,04
c (kPa)	0,00
c' (Kpa)	0,00
γ (kN/m³)	18,00
γ' (kN/m³)	11,00
Y (kN/m³)	4,67
Ym (kN/m³)	15,67
γsat (kN/m³)	21,00
N.A (1º) m	5,00
N.A (2º) m	7,00
N.A (3º) m	1,00
q' (Kpa)	0,00
q (Kpa)	18,00
q(1ºCota)	18,00
q(2ºCota)	54,00
q(3ºCota)	90,00
Nspt	30,00

**GEOMETRIA DA FUNDAÇÃO**

h(1ºCota)	1
h(2ºCota)	3
h(3ºCota)	5
B (m)	5
L (m)	5

**1.º TIPO DE SAPATA**

TIPO DE SAPATA

**1.2º PROFUNDIDADE DO BULBO**

BULBO DE TENSÕES

**1.3º NÍVEL DE ÁGUA**

NÍVEL DE ÁGUA

**PARÂMETROS DO SOLO**

Nc	0,00
Nq	64,20
Ny	109,41
Nc/Nq	0,00
Nc'	0,00
Nq'	7,82
Ny'	7,13
Nc'/Nq'	0,46
Sc	0,00
Sq	1,56
Sy	0,73
Sc'	0,00
Sq'	1,28
Sy'	0,60
tg(φ)	0,84
tg(φ')	0,00
Sen(φ)	0,64

**BRINCH-HANSEN (1961) DIFERENTES COTA**

dc	1,030	1,24	1,40
dq	1,04	1,13	1,21
dy	1	1,00	1,00
ic	1,00	1,00	1,00
iq	1,00	1,00	1,00
iy	1,00	1,00	1,00
Nc	75,500	75,50	75,50
Nq	64,400	64,60	64,40
Ny	79,884	79,88	79,88
Sc	1,850	1,85	1,85
Sq	1,640	1,64	1,64
Sy	0,600	0,60	0,60

**MEYERHOF (1963)**

Nc	75,47
Nq	64,40
Ny	94,00
dc	1,10
dq	1,05
dy	1,00
Sc	1,43
Sq	1,21
Sy	1,21

**2.º RUPTURA TIPO DE RUPTURA**

MODOS DE RUPTURA PARA SOLOS

**3.º CAPACIDADE DE CARGA**

MÉTODOS TEÓRICOS	1ºCota/N.A	2ºCota/N.A	3ºCota/N.A
TERZAGHI/YESIC (1975) (1943) (Kpa)	4930,9502	6396,3546	3999,1416
MEYERHOF (1963)	5930,1203	6593,6036	4603,1536
BRINCH-HANSEN (1961)	3860,0018	4315,651	3625,9409

**4.º TENSÃO ADMISSÍVEL**

FS 3

MÉTODOS TEÓRICOS	1ºCota/N.A	2ºCota/N.A	3ºCota/N.A
TERZAGHI (1943)	1642,6501	1786,8515	1333,0473
MEYERHOF (1963)	1976,7062	2197,8479	1534,3045
BRINCH-HANSEN (1961)	1286,7029	1427,2203	1209,6469

Fonte: Excel, Autor (2018)

Figura 52 – Visão da planilha GRÁFICOS.

AVANÇAR
VOLTAR AO INÍCIO

VOLTAR

**1. CAPACIDADE DE CARGA**

MÉTODOS TEÓRICOS	h = 1	h = 3	h = 5
TERZAGHI (1943)	4931	5397	3999,14
MEYERHOF (1963)	5930	6594	4603,15
BRINCH-HANSEN (1961)	3860	4312	3625,94

**2.º TENSÃO ADMISSÍVEL**

MÉTODOS TEÓRICOS	h = 1	h = 3	h = 5
TERZAGHI (1943)	1644	1739	1333,05
MEYERHOF (1963)	1977	2198	1534,38
BRINCH-HANSEN (1961)	1287	1437	1209,65

**SEMI-EMPÍRICOS**

MÉTODOS TEÓRICOS	h = 1	h = 3	h = 5
TERZAGHI E PECK (1967)	713	713	712,8
MEYERHOF (1965)	300	300	300
TEIXEIRA (1986)	350	350	350

Capacidade de Carga - Métodos Teóricos

Tensão Admissível - Métodos Teóricos

Tensão Admissível - Métodos Semiemp.

CAPACIDADE DE CARGA X COTA DE ASSENTAMENTO (MÉTODOS TEÓRICOS)

TENSÃO ADMISSÍVEL X COTA DE ASSENTAMENTO (MÉTODOS TEÓRICOS)

TENSÃO ADMISSÍVEL X COTA DE ASSENTAMENTO (MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS)

CAPACIDADE DE CARGA X NÍVEL D'ÁGUA

TENSÃO ADMISSÍVEL X NÍVEL D'ÁGUA

Fonte: Excel, Autor (2018)

Figura 53 – Visão da planilha TABELAS.

**TAB. 2.3** Fatores de forma (De Beer, 1967, apud Vesic, 1975)

Sapata	$S_x$	$S_y$	$S_z$
Corrida	1,00	1,00	1,00
Retangular	$1 + (B/L)(N_x/N_c)$	$1 + (B/L) \tan \phi$	$1 - 0,4(B/L)$
Circular ou Quadrada	$1 + (N_x/N_c)$	$1 + \tan \phi$	0,60

**TAB. 2.1** Fatores de forma de Terzaghi-Peck

Sapata	$S_x$	$S_y$	$S_z$
Corrida (lado B)	1	1	1
Quadrada (B = L)	1,2	1	0,8
Circular (B = diâmetro)	1,2	1	0,6

**TAB. 2.2** Fatores de capacidade de carga (Vesic, 1975)

$\phi^\circ$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c/N_q$	$N_q/N_\gamma$	$N_\gamma/N_c$
0	5,14	1,00	0,00	5,14	0,19	0,05
1	5,38	1,09	0,07	5,20	0,19	0,05
2	5,62	1,20	0,15	5,21	0,19	0,05
3	5,90	1,31	0,24	5,22	0,19	0,05
4	6,19	1,43	0,34	5,23	0,19	0,05
5	6,49	1,57	0,45	5,24	0,19	0,05
6	6,80	1,72	0,57	5,25	0,19	0,05
7	7,10	1,89	0,71	5,26	0,19	0,05
8	7,41	2,08	0,88	5,27	0,19	0,05
9	7,72	2,29	1,07	5,28	0,19	0,05
10	8,03	2,51	1,28	5,29	0,19	0,05
11	8,35	2,75	1,51	5,30	0,19	0,05
12	8,67	3,01	1,76	5,31	0,19	0,05
13	9,00	3,28	2,03	5,32	0,19	0,05
14	9,33	3,59	2,33	5,33	0,19	0,05
15	9,66	3,94	2,65	5,34	0,19	0,05
16	10,00	4,34	3,00	5,35	0,19	0,05
17	10,34	4,77	3,39	5,36	0,19	0,05
18	10,70	5,24	3,81	5,37	0,19	0,05
19	11,05	5,74	4,28	5,38	0,19	0,05
20	11,43	6,27	4,79	5,39	0,19	0,05
21	11,82	6,83	5,34	5,40	0,19	0,05
22	12,22	7,42	5,93	5,41	0,19	0,05
23	12,63	8,04	6,56	5,42	0,19	0,05
24	13,05	8,69	7,23	5,43	0,19	0,05
25	13,48	9,38	7,94	5,44	0,19	0,05

**TAB. 2.4** Peso específico de solos argilosos (Godoy, 1972)

$N_{spt}$	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )
< 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

**TAB. 2.5** Peso específico de solos arenosos (Godoy, 1972)

$N_{spt}$	Compacidade	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
		Areia seca	Úmida	Saturada
< 5	Ímola			
5 - 8	Pouca Compacta	16	18	19
9 - 16	Médiana Compacta	17	19	20
17 - 40	Compacta			
> 40	Muito Compacta	18	20	21

**Equações e Fórmulas:**

- $c^* = \frac{c}{\cos \phi}$
- $\tan \phi^* = \frac{\tan \phi}{\cos \phi}$
- $c = 10N_{spt}$  (kPa)
- de Godoy (1983):  $\phi = 28^\circ + 0,4N_{spt}$
- e de Teixeira (1996):  $\phi = \sqrt{20N_{spt}} + 15^\circ$
- $q = \gamma h$
- $N_c = e^{0,325 \tan \phi (45 + \frac{\phi}{2})}$
- $N_q = 1 + 0,16N_c \frac{\phi}{2}$
- $N_\gamma = 1 + 0,2N_c \frac{\phi}{2}$
- $i_c = 1 + 0,2 \sqrt{N_c} \frac{\phi}{2}$
- $d_c = 1 + 0,2 \sqrt{N_c} \frac{\phi}{2}$
- $a_c = 1; \phi = 0$
- $a_c = 1 + 0,16N_c \frac{\phi}{2}$
- $a_c = 1 + 0,2N_c \frac{\phi}{2}$
- $a_c = 1 + 0,2 \sqrt{N_c} \frac{\phi}{2}$
- $a_c = 1 + 0,2 \sqrt{N_c} \frac{\phi}{2}$
- $a_c = 1; \phi = 0$
- $a_c = 1; \phi = 0$
- $K_{sp} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$
- $k = \frac{c}{\sigma_1} \text{ para } \frac{c}{\sigma_1} \leq 1$
- $k = \arctan(\frac{c}{\sigma_1}) \text{ para } \frac{c}{\sigma_1} > 1$
- TABELA 4** Formulações para os métodos semiempíricos.
 

Autor	Formulação
Terzaghi e Peck (1967)	$a_{lim} = 400 \left( \frac{N_{spt} - 3}{10} \right)^{0,7} \left( \frac{B + 1}{20} \right)$
Meyerhof (1965)	$a_{lim} = \frac{10 N_{spt} a_{lim} B}{12} \left( \frac{B + 1}{B} \right)^2$
Teixeira (1996)	$a_{lim} = 50 + (1 + 0,48) 10 N_{spt}$
- $i_q = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c - 1}$
- $i_q = \left( 1 - \frac{0,5 R_q}{R_y + A_c \cdot c \cdot \cot \phi} \right)^5$
- $i_y = \left( 1 - \frac{0,7 R_q}{R_y + A_c \cdot c \cdot \cot \phi} \right)^5$

Fonte: Excel, Autor (2018)

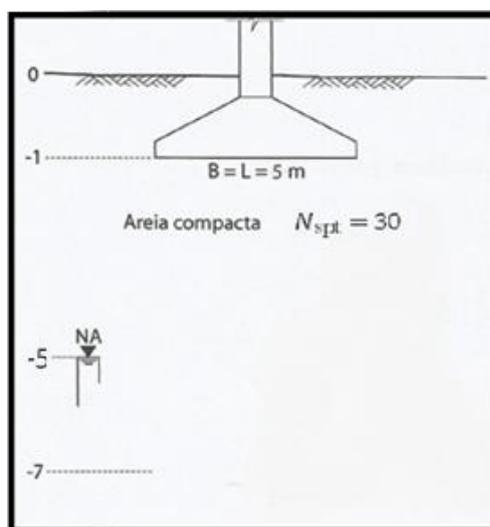
## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para demonstrar a aplicabilidade do programa desenvolvido nesta pesquisa, foram determinadas três diferentes hipóteses: (a) variação da cota de assentamento e (b) variação do nível d'água que serão apresentados neste tópico.

### 4.1. CASO 1 – VARIAÇÃO DA COTA DE ASSENTAMENTO

Para este primeiro caso, foi utilizado o exercício didático número 4, apresentado em Cintra e Aoki (2010). A Figura 54 apresenta o perfil do solo e características geotécnicas, nível d'água, cota de assentamento da sapata, NSPT, e dimensões geométrica da sapata. Para este problema proposto iremos trabalhar apenas um único tipo de solo (Areia compacta) para tornar mais eficiente as comparações para ambos os métodos.

**Figura 54 - Imagem do problema proposto.**



**Fonte: Adaptado, Fundações diretas projeto geotécnico, Cintra (2010)**

Para analisar a influência da variação da cota de assentamento ( $h$ ) nos valores da capacidade de carga e tensão admissível do solo, admitiram-se três situações:  $h$  igual a **1m**; **3m** e **5m** medidos a partir da superfície do terreno. Os parâmetros do solo: coesão, ângulo de atrito, peso específico natural e saturado, foram obtidos a partir de correlações com o valor médio do NSPT, anexados na última aba do programa. Para este caso o tipo de solo é areia compacta o que significa que o tipo de ruptura é geral.

Para o cálculo de capacidade de carga foram usados os métodos teóricos de Terzaghi e Vésic (1975 - 1943), Meyerhof (1963) e Brinch-Hansen (1961). Para o cálculo de tensão admissível, foram utilizados os métodos semi-empíricos de Terzaghi e Peck (1943), Meyerhof (1965) Teixeira (1996).

Os valores obtidos através do uso da planilha de cálculo de capacidade de carga e de tensão admissível estão resumidos na Tabela 9. Observa-se que os métodos se comportam de maneira semelhante quanto às variações da cota de assentamento, uma vez que os valores da tensão admissível aumentam à medida que a cota de assentamento se aproxima da camada impenetrável. Nota-se que as variações são pequenas, podendo-se afirmar que para esse caso analisando a mesma cota de assentamento para os diferentes modelos o valor da tensão admissível apresenta pequenas variações.

**Tabela 9 - Resultados do cálculo de capacidade de carga e tensão admissível pelos métodos teóricos: Hipótese 1 - variação da cota de assentamento.**

MÉTODOS TEÓRICOS	CAPACIDADE DE CARGA (KPA)			TENSÃO ADMISSÍVEL (KPA)		
	h = 1 m	h = 3 m	h = 5 m	h = 1 m	h = 3 m	h = 5 m
Terzaghi e Vésic (1975 1943)	5.396,85	9.002,32	11210,1	1.789,95	3.000,77	3736,70
Meyerhof (1963)	6.593,60	9.544,21	10504,37	2.197,86	3.181,40	3501,456
Brinch-Hansen (1961)	4.139,70	8.621,46	12857,62	1.379,90	2.873,82	4582,875

**Fonte: Autor (2018)**

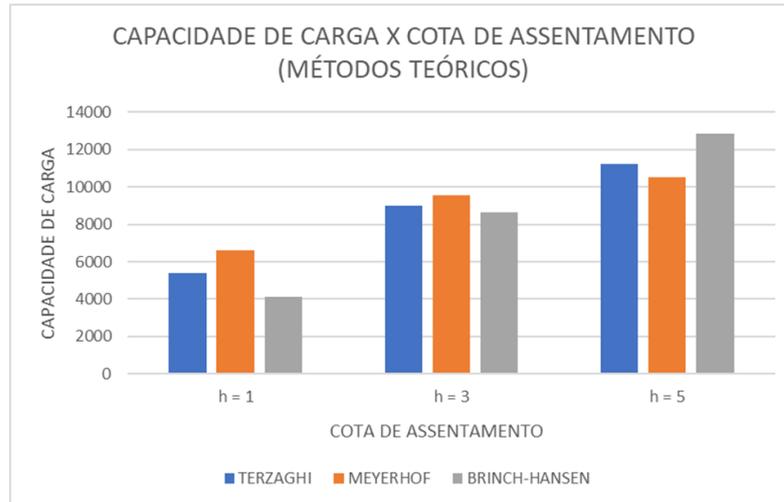
Para o uso do método de Brinch-Hansen além dos parâmetros de entradas usados para os métodos anteriores foi preciso obter os fatores de profundidades e os fatores de inclinação, ambos (obtidos na planilha de tabelas). Porém como no problema proposto as cargas são centradas sobre a sapata, logo os fatores de inclinação ( $i_c$ ,  $i_q$  e  $i_y$ ) ambos iguais a 1.

Com esses dados, os gráficos são gerados automaticamente tanto os que comparam o valor da capacidade de carga para ambos os métodos, como os gráficos que associam a capacidade de carga e a tensão admissível com a cota de assentamento.

Na Figura 55 temos o gráfico da capacidade de carga x cota de assentamento de onde podemos observar que a variação de valores ocorreu de forma muito sutil e aparentemente essa pequena dispersão ocorre quanto a primeira cota de assentamento para Meyerhof e na terceira

cota de assentamento para Brinch-Hansen. É importante notar que para a segunda cota de assentamento (3 m) os valores praticamente não mudaram. Mais abaixo na Figura 56 temos os valores alcançados na planilha de Métodos Teóricos com a execução das funções do programa.

**Figura 55 - Capacidade de carga x cota de assentamento.**



Fonte: Autor (2018)

**Figura 56 - Valores alcançados na planilha de MÉTODOS TEÓRICOS.**

3º CAPACIDADE DE CARGA			
	1ªCota/N.A	2ªCota/N.A	3ªCota/N.A
TERZAGHI/VESIC (1975) (1943) (Kpa)	5396,8545	9002,3265	11210,086
MEYERHOF (1963)	6593,6036	9544,2109	10504,368
BRINCH-HANSEN (1961)	4139,7028	8621,4629	12857,624

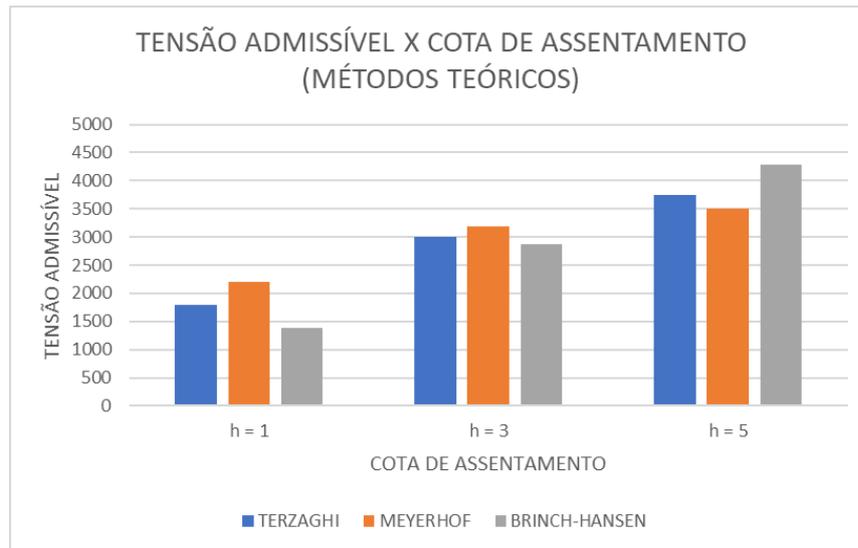
  

4º TENSÃO ADMISSÍVEL			
FS	3		
	1ªCota/N.A	2ªCota/N.A	3ªCota/N.A
TERZAGHI (1943)	1798,9515	3000,7755	3736,6953
MEYERHOF (1963)	2197,8679	3181,4036	3501,4561
BRINCH-HANSEN (1961)	1379,9009	2873,821	4285,8747

Fonte: Autor (2018)

Quando comparamos a tensão admissível com a cota de assentamento da sapata é perceptível que as mesmas observações anteriores são válidas aqui (Figura 57). Assim, podemos observar que os valores se assemelham de uma forma geral para cada cota de assentamento e que o aumento da tensão admissível ocorre de forma coerente.

**Figura 57 - Tensão admissível x cota de assentamento (Métodos teóricos).**



**Fonte: Autor (2018)**

Para os métodos semiempíricos as mudanças na cota de assentamento não geram mudanças nos valores uma vez que para o problema proposto temos uma única camada de areia compacta cujo  $N_{spt}$  é 30, logo os valores estão representados acima na Tabela 10, na Figura 58 e descritos graficamente na Figura 59.

**Tabela 10 - Resultados do cálculo de tensão admissível pelos métodos semiempíricos:**

**Hipótese 1 - variação da cota de assentamento.**

MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS	TENSÃO ADMISSÍVEL (Kpa)		
	h = 1 m	h = 3 m	h = 5 m
Terzaghi e Peck (1943) (Kpa)	712,8	712,8	712,8
Meyerhof (1965) (Kpa)	900	900	900
Teixeira (1996) (Kpa)	950	950	950

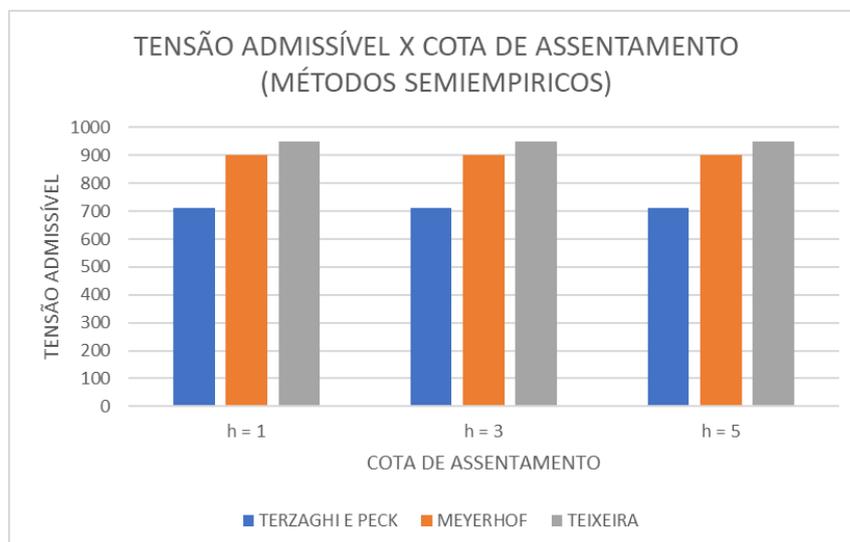
**Fonte: Autor (2018)**

**Figura 58 - Tensão admissível para as três cotas de assentamento.**

<b>2º TENSÃO ADMISSÍVEL</b>			
	1ª Cota	2ª Cota	3ª Cota
TERZAGHI E PECK (1967)	712,8	712,8	712,8
MEYERHOF (1965)	900	900	900
TEIXEIRA (1966)	950	950	950

**Fonte: Autor (2018)**

**Figura 59 - Tensão admissível x cota de assentamento (Método Semiempírico).**



**Fonte: Autor (2018)**

É importante destacar que a diferença entre os valores das tensões admissíveis entre os métodos teóricos e os semiempíricos foram bem altas, mais que o esperado, o que torna visível para o problema proposto os métodos teóricos se mostram mais confiáveis. Percebe-se também que comparando os valores semiempíricos entre eles temos que os valores para Terzaghi e Peck (1967) são menores enquanto para Meyerhof (1965) e Teixeira (1996) são muito próximos.

#### 4.2. CASO 2 – VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA

Para o segundo caso o mesmo problema proposto por Cintra e Aoki (2010) em seu livro Fundações diretas projeto de fundações foi usado. Da mesma forma como para a primeira hipótese, o problema traz todas as informações necessárias e sobre as mesmas circunstâncias demonstradas anteriormente na Figura 46.

Para o cálculo da capacidade de carga e conseqüentemente da tensão admissível tomamos como proposta a mudança na profundidade do nível de água (N.A) para **5 m, 7 m, 1 m**.

Repetiu-se o mesmo procedimento da hipótese 1 para adquirir os parâmetros do solo, e os valores da capacidade de carga e a tensão admissível para os métodos teóricos, que são os únicos que consideram as alterações do nível d'água, estão resumidos na Tabela 11.

**Tabela 11 - Resultados do cálculo de capacidade de carga e tensão admissível pelos métodos teóricos: Hipótese 2 - variação do nível d'água.**

MÉTODOS TEÓRICOS	CAPACIDADE DE CARGA (Kpa)			TENSÃO ADMISSÍVEL (Kpa)		
	N.A = 5 m	N.A =7 m	N.A = 1 m	N.A = 5 m	N.A =7 m	N.A = 1 m
<b>Terzaghi (1943)</b>	4930,95	5396,85	3999,14	1643,65	1798,95	1333,047
<b>Meyerhof (1963)</b>	5930,12	6593,6	4603,15	1976,70	2197,86	1534,38
<b>Brinch-Hansen (1961)</b>	3860,11	4139,702	3300,92	1286,70	1379,90	1100,3069

**Fonte: Autor (2018)**

Na figura 60 é possível constatar que dentre os valores alcançados aquele que demonstrou maior discrepância foi o de Meyerhof (1963), porém se analisando de uma forma geral os valores seguem de forma praticamente constante.

Para tornar a visualização dos valores intuitiva e clara foi gerado um gráfico da capacidade de carga x nível d'água demonstrado pela Figura 61 e 62. No gráfico temos que o método de Meyerhof (1963) possui a maior variação da tensão admissível e da capacidade de carga no aumento do nível d'água de 5 m para 7 m.

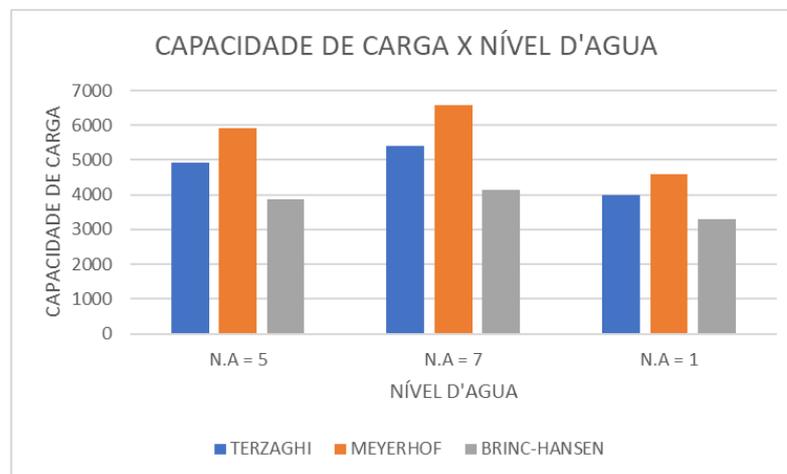
Para o nível d'água na mesma profundidade da cota de assentamento do solo é possível perceber uma redução considerável da tensão admissível o que pode causar danos sérios a fundação dimensionada sobre esta circunstância.

**Figura 60 - Valores alcançados da capacidade de carga pelas funções do programa.**

<b>3º CAPACIDADE DE CARGA</b>			
	1ªCota/N.A	2ªCota/N.A	3ªCota/N.A
TERZAGHI/VESIC (1975) (1943) (Kpa)	4930,95025	5396,8545	3999,14175
MEYERHOF (1963)	5930,12031	6593,60364	4603,15364
BRINCH-HANSEN (1961)	3860,10878	4139,70278	3300,92078

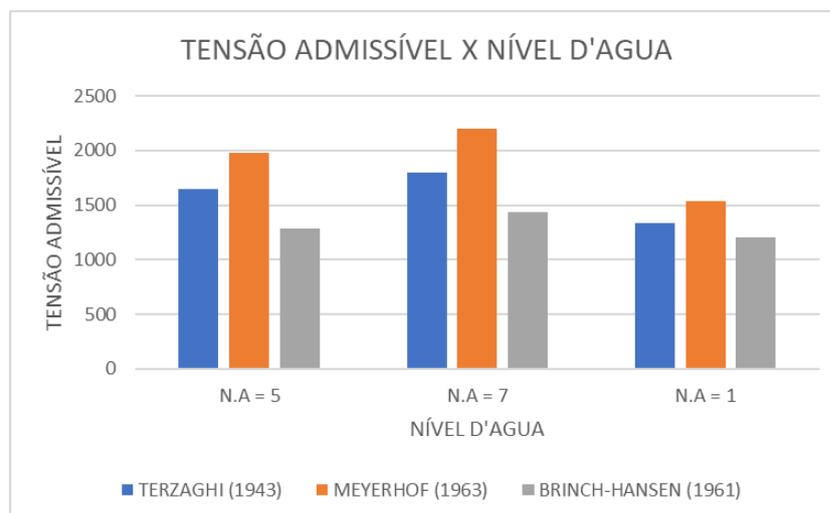
**Fonte: Autor (2018)**

**Figura 61 - Capacidade de carga x Nível d'agua.**



**Fonte: Autor (2018)**

**Figura 62 - Tensão admissível x Nível d'agua.**



**Fonte: Autor (2018)**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

O presente tópico aborda as conclusões extraídas de tudo que foi produzido anteriormente, aqui é possível refletir sobre as vantagens e relevâncias do que foi realizado.

### 5.1 CONCLUSÕES

Os objetivos almejados com a execução deste trabalho foram alcançados através da elaboração de um programa de otimização, composto por planilhas eletrônicas e programadas dentro do Microsoft Excel com o auxílio do VBA. Através do programa foi possível calcular a capacidade de carga e a tensão admissível para fundações superficiais tipo sapata com base retangular e quadrada levando em consideração os três tipos de ruptura do solo, aplicados para métodos teóricos e semiempíricos consagrados na literatura técnica.

Para obter os resultados foi abordado duas hipóteses centrais: mudança da cota de assentamento da sapata no maciço e a variação do nível d'água para uma mesma cota de assentamento. Os resultados gerados foram comparados graficamente para ambos os métodos.

Para a primeira hipótese a mudança da cota de assentamento da sapata trouxe valores relativamente próximos para ambos os métodos teóricos, cuja variação de valores ocorreu de forma esperada para a capacidade de carga e conseqüentemente para a tensão admissível, para os métodos semiempíricos os valores não mudaram em função do mesmo  $N_{spt}$  do solo para todas as cotas consideradas.

Para a segunda hipótese, a mudança d nível d'água gerou mudanças perceptíveis no resultado final, visto que, o método de Meyerhof (1963) foi o que apresentou maior variação dos valores para capacidade de carga e tensão admissível comparadas aos demais. Também é possível observar que uma diminuição brusca da tensão admissível compromete o dimensionamento da fundação para tal circunstância.

As principais vantagens retiradas do programa são: rapidez na obtenção dos resultados por ser uma ferramenta portátil que pode ser acessada de qualquer dispositivo móvel (celulares, tablets e notebooks); realiza o cálculo de forma mais segura e mais rápida do que se fosse realizado manualmente; permite ser utilizada sobre diferentes casos, independentemente do tipo de solo; pode ser realizado com dados obtidos a partir de sondagem a percussão.

É importante destacar que o programa é intuitivo e prático, podendo ser usado para fins acadêmicos e profissionais, cabendo ao usuário ter um conhecimento básico sobre os métodos empregados para se obter o cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível.

## 5.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Considerar outros cenários como: cargas excêntricas, outros tipos de fundações superficiais (sapatas divisas excêntricas ou com vigas alavancas, sapatas isoladas circulares, sapatas associadas, etc.);
- Gerar estudo de prova de carga para efeito de comparação de resultados;
- Gerar um estudo de casos na cidade de Caruaru;
- Implementar outros códigos para abordar fundações profundas.

## REFERÊNCIAS

O presente tópico traz as principais referências tomadas como ancora para a elaboração do trabalho, assim como, as fontes de dados e informações complementares.

ALFA MÍDEA. **Excel 2013 – Macros**. 2013. Disponível em: <<http://www.alfamidia.com.br/apostilas/apostila-de-vba/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

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

CARDOSO, A. F. C. **Desenvolvimento de um programa de cálculo de sapatas de betão armado**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 2011, 102 p.

CARVALHO, F. V. M. **Otimização dos custos dos projetos de estaqueamento através de uma planilha de cálculo eletrônica de fundações profundas**. Tese (Mestrado em Projeto de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2014, 126 p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

DOMINGUES, L. **Excel – Macros e Visual Basic for Applications**. Disponível em: <[https://www.yumpu.com/pt/account/create#=\\_](https://www.yumpu.com/pt/account/create#=_)>. Acesso em: 04 out. 2018.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução de All Tasks; Revisão Técnica de P. L. A. Barros. São Paulo, Thomson Learning, 2007.

FERREIRA, T. R.; DELALIBERA, R. G.; SILVA, W. A. **Rotina computacional para a previsão da capacidade de carga em estacas**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Vol. 8 – n° 3 – jun – Catalão/GO, 2014, 38-50 p.

**NOGUCHI, L. T. Análise da capacidade de carga de fundação por sapatas executadas na cidade de São Caetano do Sul/SP.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil na área de Geotecnia) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas,SP, 2012, 184 p.

**OLIVEIRA, B. L. M.; AMANCIO, L. B. Otimização do cálculo da capacidade de carga e da tensão admissível do solo para sapatas isoladas.** Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

**WIKIPÉDIA, A ENCICLOPÉDIA LIVRE. Visual Basic for Applications.** 2018. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Visual\\_Basic\\_for\\_Applications](https://pt.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic_for_Applications)>. Acesso em: 04 out. 2018.