



**FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS – FAPAC  
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO S/A  
ENGENHARIA CIVIL**

**MURYLO RODRIGUES CÂNDIDO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS  
UTILIZANDO O SOFTWARE DA ALTOQI EBERICK V10 E FERRAMENTAS VBA**

**PORTO NACIONAL-TO  
2019**

**MURYLO RODRIGUES CÂNDIDO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS  
UTILIZANDO O SOFTWARE DA ALTOQI EBERICK V10 E FERRAMENTAS VBA**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil da FAPAC/ITPAC PORTO NACIONAL como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Áreas: Estruturas e Geotecnia

Orientador: Alesi Teixeira Mendes

**MURYLO RODRIGUES CÂNDIDO DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS  
UTILIZANDO O SOFTWARE DA ALTOQI EBERICK V10 E FERRAMENTAS VBA**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e defendido em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (   ) APROVADO (   ) REPROVADO  
Banca examinadora constituída pelos professores:

---

Orientador (a): Eng. Civil Alesi Teixeira Mendes

---

Eng. Civil: Cárita Monielle Maia de Oliveira

---

Professor (a): Me. Rafaella Oliveira Guimarães Santos

**PORTO NACIONAL-TO**

**2019**

## RESUMO

As fundações superficiais são os elementos estruturais mais empregados em obras residenciais de pequeno e médio porte da construção civil. Com o desenvolvimento tecnológico da engenharia civil, o emprego de softwares se tornou imprescindível para a elaboração de projetos de fundações. No entanto, os programas apresentam algumas peculiaridades, correndo o risco de superdimensionar a estrutura caso o projeto for elaborado sem concepção estrutural e/ou geotécnica, podendo destacar o Software da AltoQi Eberick V10, programa mais utilizado para a elaboração de projetos de estruturas em concreto armado. Dessa forma, o presente trabalho irá realizar um estudo comparativo, com base em um projeto estrutural de uma obra residencial de pequeno porte elaborado pelo Software da AltoQi Eberick V10, com o auxílio de uma ferramenta computacional desenvolvida em VBA, para verificar se as sapatas isoladas do projeto foram superdimensionadas. Por fim, espera-se produzir um relatório em formato XLM ou PDF comparando as dimensões calculadas pelas duas ferramentas computacionais.

**Palavras – chave:** Projeto Estrutural. Concreto Armado. Superdimensionamento.

## ABSTRACT

Surface foundations are the most used structural elements in small and medium-sized residential construction works. With the technological development of civil engineering, the use of software has become indispensable for the elaboration of foundations projects. However, the programs present some peculiarities, at the risk of oversized the structure if the project is elaborated without structural and/or geotechnical design, being able to highlight the Software of AltoQi Eberick V10, a program most used for the elaboration of projects of reinforced concrete structures. Thus, the present work will conduct a comparative study, based on a structural project of a small residential work elaborated by the AltoQi Eberick V10 Software, with the help of a computational tool developed in VBA, to verify that the shoes isolated from the project were oversized. Finally, it is expected to produce a report in XLM or PDF format comparing the dimensions calculated by the two computational tools.

**Key words:** Structural Project. Reinforced concrete. Oversizing.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Ferramenta de Sondagem SPT .....                                | 13 |
| Figura 2 - Blocos de fundações rasas .....                                 | 16 |
| Figura 3 - Sapata associada.....                                           | 16 |
| Figura 4 - Sapata Isolada .....                                            | 18 |
| Figura 5 - Dimensões da sapata rígida isolada .....                        | 19 |
| Figura 6 - Alturas da sapata isolada.....                                  | 20 |
| Figura 7 - Disposição da área de aço na fundação .....                     | 22 |
| Figura 8 - Janela de configuração para o dimensionamento das sapatas ..... | 23 |
| Figura 9 - Rotina de programação.....                                      | 25 |
| Figura 10 - Ambiente para lançamento de dados.....                         | 26 |
| Figura 11 - Comparativo de dimensões.....                                  | 27 |

**LISTA DE TABELAS**

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Associação da resistência do maciço com a quantidade de golpes SPT .14 |    |
| Tabela 2 - Cronograma da pesquisa.....                                            | 28 |

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|     |                                                  |
|-----|--------------------------------------------------|
| SPT | Standard Penetration Test (Sondagem a Percussão) |
|-----|--------------------------------------------------|

## SUMÁRIO

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                         | <b>10</b> |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                           | <b>11</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                           | 11        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                   | 11        |
| <b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                 | <b>12</b> |
| 3.1 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS .....               | 12        |
| <b>3.1.1 Standard Penetration Test (SPT).....</b> | <b>13</b> |
| 3.2 TIPOS DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS .....         | 15        |
| 3.3 CONCEITO DE SAPATA ISOLADA .....              | 17        |
| 3.4 DIMENSIONAMENTO DA SAPATA ISOLADA .....       | 18        |
| 3.5 PROGRAMA ESTRUTURAL EBERICK.....              | 23        |
| 3.6 FERRAMENTA VBA.....                           | 24        |
| <b>4 METODOLOGIA .....</b>                        | <b>26</b> |
| <b>5 CRONOGRAMA .....</b>                         | <b>28</b> |
| <b>6 RESULTADOS ESPERADOS .....</b>               | <b>29</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                           | <b>30</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                               | <b>32</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As fundações superficiais (rasas ou diretas) são os elementos estruturais mais empregados em obras de pequeno porte da construção Civil. Sua utilização é recomendada para solos que apresente boa capacidade de carga, sendo a fundação do tipo sapata o elemento mais utilizado. Este tipo de fundação pode ser classificado como sapata isolada ou associada. A utilização desses elementos construtivos irá depender dos componentes estruturais da superestrutura como pilares, vigas, entre outros, para verificar qual tipo de fundação deverá ser utilizada.

Os projetos de fundações é considerado um estudo bastante heterogêneo na engenharia civil, pois esse estudo abrange fatores como as características geotécnicas do solo até análise completa das cargas que serão aplicadas pela superestrutura sobre a fundação. Em relação às características do solo, existem diversos meios de investigações geotécnicas disponíveis para o engenheiro civil, desde ferramentas e ensaios de campo até ensaios laboratoriais.

Outro parâmetro importante a ser ressaltado é a utilização de ferramentas computacionais (softwares) para a elaboração de projetos de fundações, podendo ser divididas em ferramentas de análises e para também para realizar dimensionamentos, de forma a otimizar o serviço e minimizar erros de projeto. Entretanto, os softwares apresentam algumas peculiaridades em que o profissional precisa ter conhecimentos específicos na área para evitar problemas de superdimensionamento de elementos de fundação.

Para tanto, é muito importante realizar um estudo comparativo com auxílio de outras ferramentas para verificar se o projeto foi elaborado de forma correta e eficiente, para buscar diminuir gastos com materiais e, principalmente, prezar pela segurança da construção.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo comparativo entre o dimensionamento de fundações superficiais pelo programa da AltoQi Eberick V10 e uma ferramenta VBA baseada na NBR 6122 (2019).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desenvolver uma ferramenta computacional para dimensionar sapatas isoladas;
- Elaborar códigos, funções e rotinas no VBA que possibilitem o usuário gerar os resultados para o comparativo;
- Comparar o dimensionamento do Eberick com os resultados da ferramenta.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Antes da elaboração de projetos de fundações, é necessário verificar as características do solo local onde será implantada a estrutura, pois dependendo da primeira porção de solo identificado e de acordo com a carga de projeto, por motivos de segurança e durabilidade da construção, será necessário realizar mais um estudo, desta vez, das camadas mais profundas do terreno (SENA, 2016).

Segundo o mesmo autor, as fundações representam 3% a 10% do valor completo do empreendimento caso seja dimensionada de forma eficiente; entretanto, se o planejamento do projeto da fundação ocorrer sem a concepção estrutural e/ou geotécnica, esse valor pode elevar de 5 a 10 vezes o preço da fundação mais indicada. Por isso cabe ao responsável pelo projeto realizar um estudo completo do subsolo para diminuir os gastos com o empreendimento e consequentemente prezar a segurança e durabilidade da construção.

De acordo com Hachich (1998), os ensaios “in situ”, ou seja, os ensaios realizados em campo, são considerados os métodos de classificação e identificação dos solos mais importante para verificar as propriedades geotécnicas do material. E o tipo de ensaio mais empregado na prática em obras de engenharia, enquanto que os ensaios de laboratório são mais utilizados em ocasiões especiais quando o solo apresenta características de solo coesivo.

Segundo Sena (2016), existem diversos meios de investigações geotécnicas disponíveis no mercado, cabendo o engenheiro verificar a melhor forma de aplicação conforme a situação do local apresentado. Dentre esses métodos podemos citar:

- Poços;
- Sondagens a trado;
- Sondagens a Percussão (SPT);
- Sondagens rotativas;
- Sondagens mistas;
- Ensaio de cone (CPT);
- Ensaio pressiométrico (PMT).

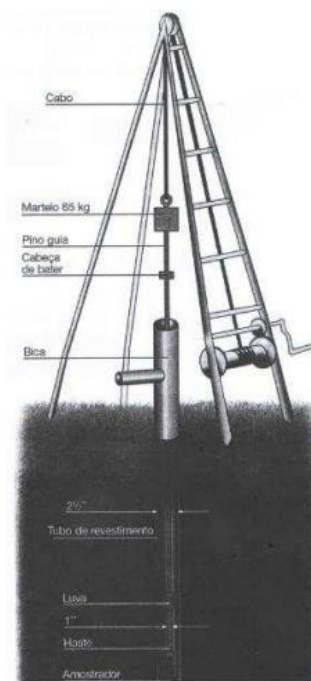
Além desses métodos de ensaio, existem outros meios de investigação do subsolo; porém, neste trabalho será abordado apenas a sondagem a percussão (SPT) por ser o ensaio mais utilizado em obras de pequeno e médio porte.

### 3.1.1 Standard Penetration Test (SPT)

Na Engenharia Civil, este ensaio é o mais empregado para verificar as características gerais do subsolo antes da elaboração de projetos de fundações. O ensaio é normatizado pela NBR 6484 (ABNT, 2001), onde os objetivos deste ensaio são a:

- Caracterização do tipo de solo por camada;
- Determinação da profundidade do lençol freático;
- Resistência do maciço a penetração conforme a metragem perfurada.

Figura 1. Ferramenta de Sondagem SPT



Fonte: Schnaid e Odebrecht, 2012.

Este ensaio, conforme estabelece a norma acima, é executado a cada 1 m de profundidade no solo, com o auxílio de um equipamento de sondagem composto pelas seguintes ferramentas, conforme visualizado na Figura 1, que são: um amostrador padrão, que tem a função de coletar as amostras de solo para verificar as

características geotécnicas do material; um haste para utilizar como ferramenta de impacto na extremidade inferior do equipamento; um guia para manusear o peso de 65 kg especificado por norma, de forma que o peso mantenha sua trajetória de impacto com o auxílio de uma roldana presa em um tripé de suporte estrutural e, por fim, com base na relação entre o número de golpes aplicados com o avanço do amostrador, obter as informações necessárias das amostras do maciço (VELLOSO; LOPES, 2004). Ainda sobre esse processo de execução, Velloso e Lopes (2004, p.36) complementa da seguinte forma:

Anota-se o número de golpes necessários para cravar 45 cm do amostrador em três conjuntos de golpes para cada 15 cm. O resultado do ensaio SPT é o número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais (desprezando-se, portanto, os primeiros 15 cm, embora o número de golpes para essa penetração seja também fornecido).

De acordo com a NBR 8036 (ABNT, 1983), a quantidade de sondagens a ser aplicada deve atender alguns critérios, que são: Áreas de projeto com até 1200 m<sup>2</sup> deve realizar um furo a cada 200 m<sup>2</sup>. Em áreas de projeto que esteja entre 1200 m<sup>2</sup> e 2400 m<sup>2</sup>, o furo de sondagem deve ser realizado a cada 400 m<sup>2</sup> que ultrapassem os 1200 m<sup>2</sup> iniciais. Em relação a quantidade mínima de sondagens, a norma estabelece ainda que:

- Dois furos para obras com até 200 m<sup>2</sup>;
- Três furos para obras entre 200 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup>.

Para Rebello (2008), é possível determinar a resistência do solo interpolando o resultado do SPT utilizando a tabela 1, fornecida pelo IPT:

Tabela 1. Associação da resistência do maciço com a quantidade de golpes SPT

| Tipo de Solo  | Número de Golpes (SPT) | Taxa do solo (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|------------------------|-------------------------------------|
| Areia e Silte | 0 a 4                  | 0 a 1                               |
|               | 5 a 8                  | 1 a 2                               |
|               | 9 a 18                 | 2 a 3                               |
|               | 19 a 40                | >4                                  |
| Argila        | 0 a 2                  | 0 a 0,25                            |
|               | 3 a 5                  | 0,5 a 1                             |
|               | 6 a 10                 | 1,5 a 3                             |
|               | 11 a 19                | 3 a 4                               |
|               | >19                    | >1                                  |

Fonte: Adaptado de Rebello, 2008.

Dessa forma, conforme estabelece Rebello (2008), pode-se determinar a tensão admissível do solo quando as dimensões da seção da sapata forem pré-definidas, com base nos dados geotécnicos das camadas mais profundas do terreno, podendo determinar a taxa média do número de golpes ( $N_{médio}$ ) à profundidade igual a 1,5 vezes a maior dimensão da fundação. Com isso, a tensão admissível pode ser definida em kgf/cm<sup>2</sup> utilizando a seguinte equação:

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{médio}}{5} \quad (1)$$

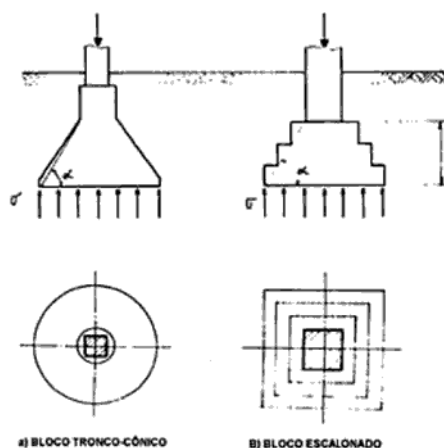
Existe várias formas de relacionar os resultados de SPT com a resistência do solo para determinar a tensão admissível. Isso vai depender da experiência do engenheiro em campo, com base nas características do terreno e a forma de dimensionamento que o profissional vai adotar.

### 3.2 TIPOS DE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Pela NBR 6122 (ABNT, 2019), as fundações superficiais são os elementos que transmitem as cargas para o solo perante sua base, obedecendo a uma profundidade inferior a duas vezes sua menor dimensão. Segundo Hachich (1998), as fundações superficiais podem ser divididas em três grandes grupos estruturais, que são os blocos, sapatas e radiers.

Os blocos de fundação, tem a função de receber as cargas de compressão da superestrutura, e um tipo de fundação confeccionado em concreto simples, podendo apresentar alturas elevadas. A sua forma geométrica pode ser caracterizada em bloco escalonado, ou pedestal, ou de um tronco de cone conforme pode ser visualizado na Figura 2. Os blocos de tronco de cone podem ser classificados na prática como sendo uma fundação do tipo tubulão a céu aberto curtos. O cálculo da sua altura H deve ser elaborada para evitar a colocação de armaduras em sua base, de forma que os esforços de tração aplicadas no concreto possam ser resistidos.

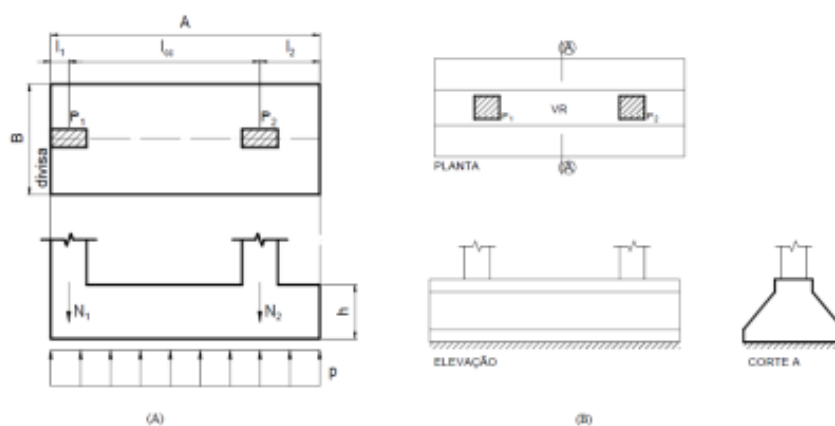
Figura 2. Blocos de fundações rasas



Fonte: Hachich, 1998.

Ainda segundo o mesmo autor, as sapatas são elementos estruturais com menor dimensão que os blocos de fundação, que suportam os esforços de flexão. Este tipo de fundação pode apresentar qualquer forma geométrica em planta, sendo as sapatas quadradas ( $B=L$ ), retangulares e corridas ( $L \gg B$ ) os elementos mais comuns empregados para este fim. Em relação a seu dimensionamento geotécnico, se o  $L \leq 5B$ , sua forma geométrica é considerada retangular. Em casos de proximidades de pilares no projeto, a sapata isolada não pode ser empregada, sendo neste caso a utilização de uma sapata associada, que irá servir como um elemento de fundação para pilares em conjunto, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3. Sapata associada



Fonte: Bastos, 2016.

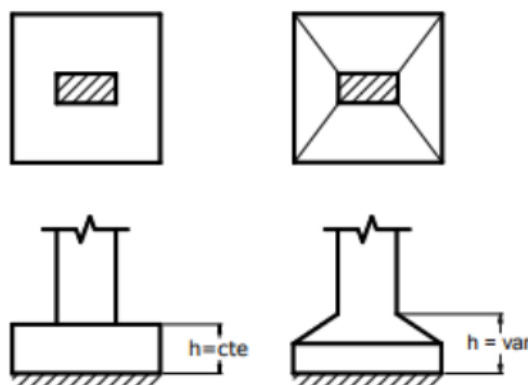
As fundações do tipo radier é uma estrutura confeccionada em concreto armado ou protendido cuja função é receber os carregamentos dos pilares, alvenarias, entre outros tipos de construções da superestrutura. De acordo com sua geometria, esse elemento pode ser classificado como radier liso, pedestais, nervurados e caixão (PATRICIO, 2019). Para atender os objetivos gerais do trabalho, o estudo será realizado apenas para fundações do tipo sapata isolada, por ser o elemento de fundação existente no projeto estrutural disponível em anexo.

### 3.3 CONCEITO DE SAPATA ISOLADA

E o tipo de fundação superficial que tem como função suportar o carregamento de um único pilar (ALONSO, 1983). Pela NBR 6122 (ABNT, 2019), a sapata é um elemento estrutural confeccionado em concreto armado, onde as armaduras existentes na estrutura têm como função específica suportar os esforços de tração e o concreto as cargas de compressão. As sapatas isoladas são empregadas somente quando as cargas de serviços aplicadas pela superestrutura são pontuais ou concentradas, como, por exemplo, os esforços dos pilares, conforme ilustrado na Figura 4, e as reações de vigas baldrame (Rebello, 2008).

De acordo com Carvalho (2014), a fundação do tipo sapata apresenta uma vantagem considerável em relação as demais fundações, sendo um elemento estrutural que apresenta um processo de execução fácil e rápido, e não exige auxílio de ferramentas especiais ou mão de obra especializada, ao contrário das fundações profundas. Para obras de pequeno e médio porte, as sapatas isoladas são as fundações mais empregadas, onde Carvalho (2014) destaca que a sua utilização é recomendada para terrenos que apresentem de média a alta capacidade de suporte estrutural.

Figura 4. Sapata Isolada



Fonte: Bastos, 2016.

Em relação aos detalhes construtivos da sapata, A NBR 6122 (ABNT, 2019) especifica que:

#### 7.1 Dimensão mínima

Em planta, as sapatas isoladas ou os blocos não podem ter dimensões inferiores a 60 cm.

#### 7.2 Profundidade mínima

Nas divisas com terrenos vizinhos, salvo quando a fundação por assente sobre rocha, a profundidade de apoio não pode ser inferior a 1,5 m. Em casos de obras cujas sapatas ou blocos tenham, em sua maioria, dimensões inferiores a 1,0 m, essa profundidade mínima pode ser reduzida.

#### 7.3 Lastro

Todas as partes da fundação rasa (direta ou superficial) em contato com o solo (sapatas, vigas de equilíbrio etc.) devem ser concretadas sobre um lastro de concreto não estrutural com no mínimo 5 cm de espessura, a ser lançado sobre toda a superfície de contato solo-fundação. No caso de rocha, esse lastro deve servir para regularização da superfície e, portanto, pode ter espessura variável, no entanto observado um mínimo de 5 cm. (NBR 6122, 2019, p.22)

Para Steindorff (2017), mesmo a norma definindo a dimensão mínima de 60 cm, e conveniente adotar no mínimo 80 cm de lado da sapata.

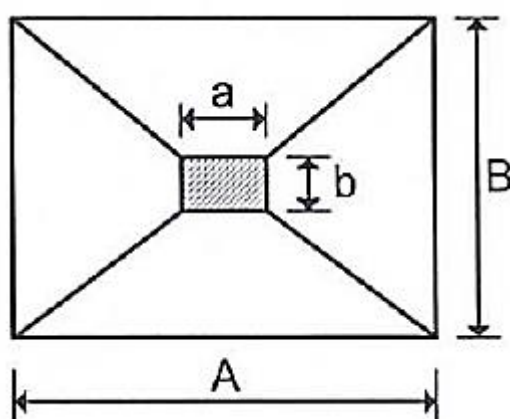
### 3.4 DIMENSIONAMENTO DA SAPATA ISOLADA

Para começar a etapa de dimensionamento de uma sapata rígida isolada, Araújo (2010) estabelece quatro etapas a serem seguidas, que são: Projeto Geométrico, Verificação das tensões no concreto, cálculo das armaduras e o detalhamento da área de aço. Para a realização desse cálculo, é necessário ter alguns dados iniciais, que são: carga exercida pelo pilar, as dimensões da seção do pilar, a

tensão admissível do solo, os dados da resistência a compressão do concreto da sapata ( $f_{ck}$ ) e o tipo de aço a ser empregado para o detalhamento das armaduras.

Segundo o mesmo autor, os dados das cargas de trabalho dos pilares e as dimensões de sua seção são fornecidos pelo projeto estrutural; a tensão admissível do solo é determinada através das investigações geotécnicas, ou seja, com base no ensaio de SPT explicado anteriormente, utilizando a equação 1; o  $F_{ck}$  é determinado pela empresa responsável pelo fornecimento do concreto para a obra e o aço a ser utilizado irá depender da escolha do engenheiro, geralmente, utiliza-se o Aço CA-50 para armaduras longitudinais, enquanto que o Aço CA-60 é indicado para armaduras transversais (Estribos).

Figura 5. Dimensões da sapata rígida isolada



Fonte: Araújo, 2010.

Na etapa do projeto geométrico, será calculado a área da base da sapata,  $S = A * B$ , considerando que a carga é centrada, pela seguinte equação:

$$\frac{A}{a} = \frac{B}{b} \quad (2)$$

Nesta equação,  $a$  e  $b$  são as dimensões de seção do pilar. Com essa restrição, as dimensões  $A$  e  $B$  da sapata ilustrado na Figura 5 podem ser determinadas pelas equações 3 e 4, obedecendo as especificações estabelecidas pela NBR 6122 (ABNT, 2019) em que a dimensão mínima da sapata não pode ser inferior a 60 cm.

$$A = \sqrt{\frac{a}{b}} S \quad (3)$$

$$B = \sqrt{\frac{b}{a}} S \quad (4)$$

No projeto estrutural, a carga de serviço ( $Nk$ ) dos pilares obtidas no dimensionamento estrutural deve ser majorada multiplicando por 1,4 para poder encontrar o valor de  $Nd$ . Após finalizar essa etapa, será calculado a área estimada da sapata ( $S$ ) dividindo o  $Nd$  pela tensão admissível encontrada com base nos ensaios de SPT.

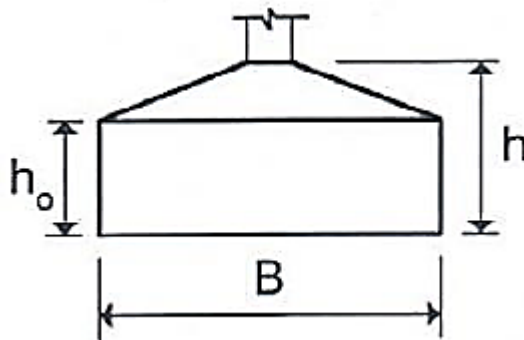
$$S = \frac{Nd}{\sigma_{adm}} \quad (5)$$

Após finalizar a etapa de dimensionamento da base da sapata, será iniciado o dimensionamento da altura da fundação conforme exemplificado na Figura 6. Para que o elemento possa ser considerada rígida, a altura ( $h$ ) deve atender os seguintes critérios:

$$h \geq \frac{A-a}{4} \quad (6)$$

$$h \geq \frac{B-b}{4} \quad (7)$$

Figura 6. Alturas da sapata isolada



Fonte: Araújo, 2010.

Nesse caso, deve-se utilizar o maior valor encontrado pelas duas equações e também garantir que  $h \geq 0,6l_p + 5 \text{ cm}$  para possibilitar a ancoragem da armadura

longitudinal do pilar. A altura da base da sapata deve atender o critério  $h/3$ , ou seja,  $h_0$  não pode ser inferior a 20 cm. Se o resultado por exemplo da altura ( $h$ ) for 32,5 cm, será conveniente adotar 35 cm, ou seja, obedecer um arredondamento de 5 cm, sendo este critério aplicado também para o cálculo da menor altura da fundação.

Na segunda etapa de dimensionamento, será utilizado as seguintes equações:

$$\sigma_d \leq 0,20fcd \quad (8)$$

$$\sigma_d > 0,20fcd \quad (9)$$

Onde:

$\sigma_d$  e a tensão normal;

$fcd$  e a resistência a compressão de cálculo do concreto da sapata.

A  $\sigma_d$  e calculada dividindo  $Nd$ , que é a carga de serviço  $Nk$  multiplicado por 1,4, sobre os valores das dimensões do pilar a e b. o  $fcd$  e determinado dividindo o  $fck$ , que é o concreto da sapata, sobre 1,4. Se no dimensionamento a equação 8 for atendida, o braço de alavanca será  $Z = d$ , onde  $d$  e a altura útil da fundação em conjunto com a região facial do pilar. Caso a equação 9 for atendida no cálculo, nesse caso  $Z = d - x$ , onde  $x$  e o cobrimento, ou seja, a proteção da armadura. Por exemplo, se  $fcd = 1,43$ , então  $0,20fcd = 0,286$ . Nesse caso será empregada a seguinte equação para encontrar o valor de  $x$ , necessitando utilizar a fórmula de baskara para sua resolução:

$$\sigma_d = \frac{ab}{(a+4x)(b+4x)} \sigma_d \leq 0,20fcd \quad (10)$$

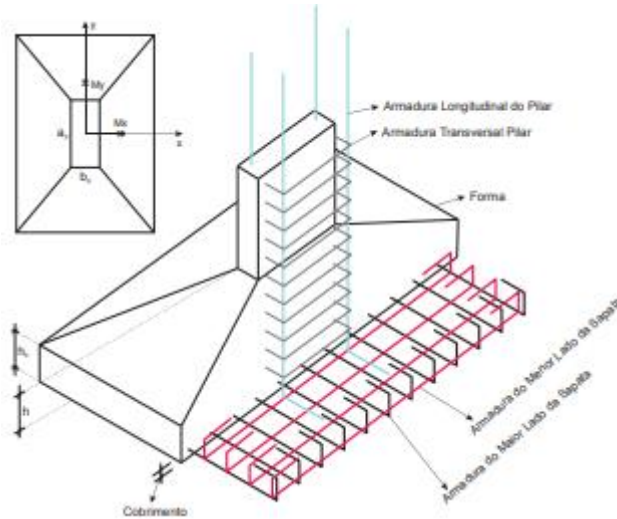
Na terceira etapa será calculado a área de aço ( $A_s$ ) para as duas direções  $x$  e  $y$  da base da sapata. Se a carga de serviço do pilar for perpendicular ao centro de gravidade da sapata, ou seja, se a carga for centrada, será utilizada as seguintes equações:

$$A_{sx} = \frac{N_d(A-a)}{8Z_{1,15} \frac{A_{co}}{1,15}} \quad (11)$$

$$A_{sy} = \frac{N_d(B-b)}{8Z_{1,15} \frac{A_{\phi 0}}{1,15}} \quad (12)$$

A Figura 7 mostra a disposição das armaduras sobre a fundação e também ilustra as etapas de projeto determinadas para a sapata.

Figura 7. Disposição da área de aço na fundação



Fonte: SOUSA et al., 2018.

A última etapa do projeto é o detalhamento das armaduras da sapata. Essa parte é necessário calcular o espaçamento entre as barras e a quantidade de armaduras que será disposta perante sua base. O espaçamento ( $e$ ) tem que obedecer a condição  $10cm \leq e \leq 20cm$ . Esses procedimentos de cálculo podem ser resolvidos pelas seguintes equações:

$$e = \frac{\text{comprimento} - 2 \times \text{cobrimento}}{n^{\circ} \text{ espaços}} \quad (13)$$

$$n^{\circ} \text{ barras} = \frac{A_s}{A_{s\phi}} \quad (14)$$

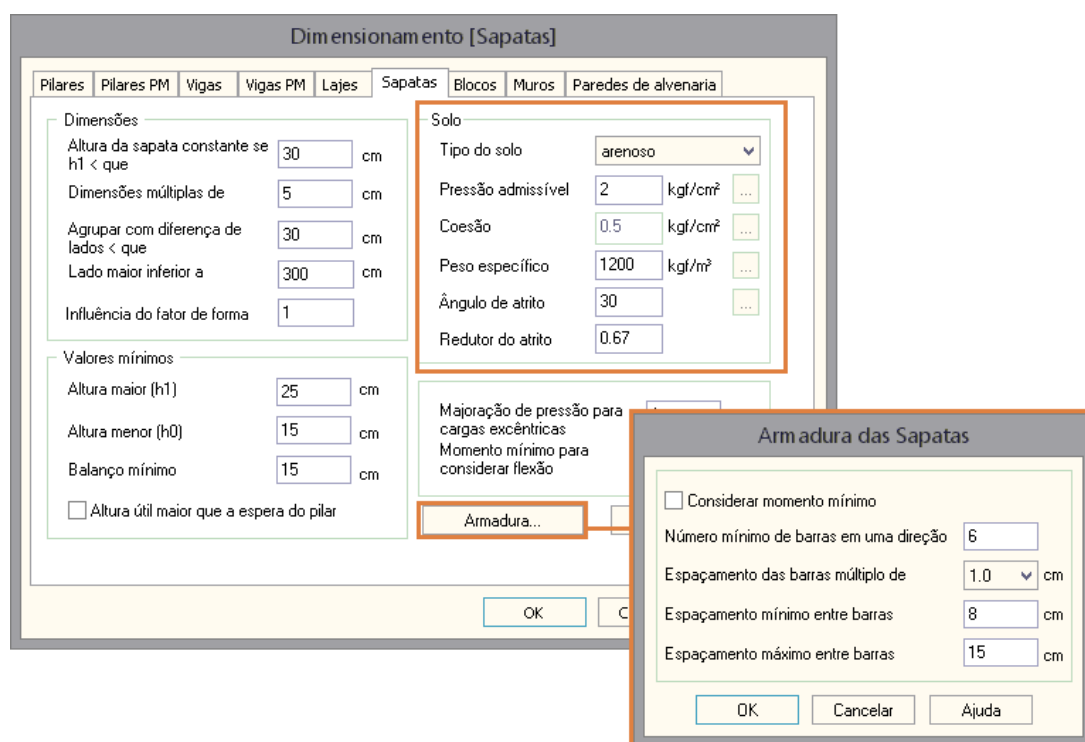
Para a direção x, calcula-se a quantidade de barras dividindo  $A_{sx}$  pela área da barra. O espaçamento pode ser calculado utilizando o valor do comprimento da sapata em sua respectiva direção, o cobrimento adotado de 5 cm e o número de espaços que é definido subtraindo o valor da quantidade de barras por 1. Para a direção y repete-se esse mesmo procedimento de cálculo, adotando os parâmetros especificados para essa direção. O dimensionamento é finalizado quando as armaduras são colocadas em suas respectivas direções.

### 3.5 PROGRAMA ESTRUTURAL EBERICK

Segundo Silva (2018), o Software Eberick é uma ferramenta computacional desenvolvida pela empresa AltoQi destinado a realizar o dimensionamento de estruturas em concreto armado com base nas prescrições estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Segundo o mesmo autor, o Software Eberick ainda realiza análise da estrutura, realiza o dimensionamento de elementos estruturais, faz a compatibilização de projetos com as demais disciplinas, além de gerar no final as pranchas com os detalhamentos das armaduras e plantas de formas.

Para Luis Filipe Longo (2019), essa ferramenta computacional apresenta várias formas de configurar os elementos estruturais de concreto armado de acordo com as especificações normativas. Em relação a configuração do dimensionamento das sapatas, o programa apresenta vários parâmetros que o usuário deverá fornecer de acordo com a situação do projeto que será implantado os elementos estruturais de fundação. Como mostra a Figura 8.

Figura 8. Janela de configuração para o dimensionamento das sapatas



Fonte: Luis Filipe Longo, 2019.

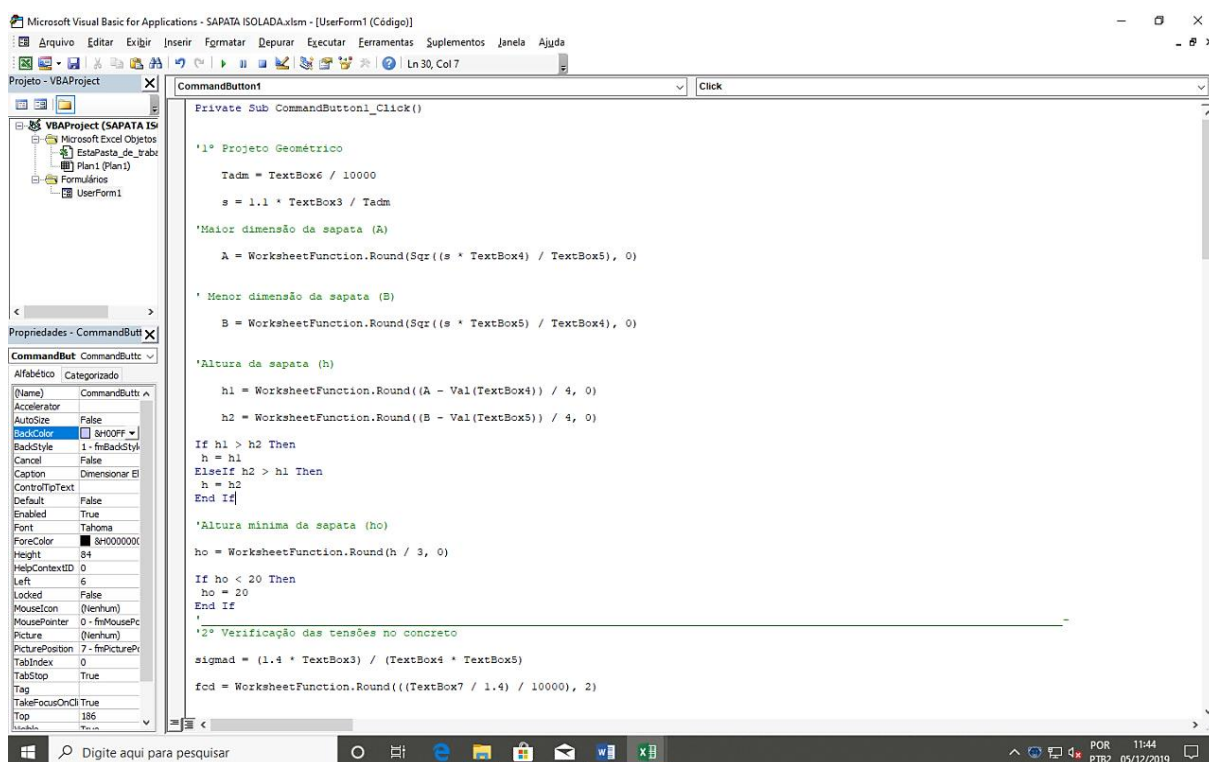
Ainda segundo Luis Filipe Longo (2019), essas configurações em destaque são os principais parâmetros a serem adotados para realizar o dimensionamento das sapatas pelo programa. No Software, o usuário tem a possibilidade de escolher qual o tipo de solo que a sapata será empregada, definir o valor da pressão admissível obtidos nos ensaios realizados em campo como explicado anteriormente no trabalho, se o solo apresentar características de material coesivo o usuário pode definir os parâmetros obtidos e definir no programa, possibilidade de considerar o material utilizado como reaterro da cava de fundação para que o programa possa dimensionar considerando o peso específico do solo sobre o elemento de fundação, definir o valor do ângulo de atrito caso o solo apresentar características de material arenoso, definir o redutor do atrito caso a sapata apresentar problemas de deslizamento em solos arenosos e também pode configurar as armaduras da sapata seguindo as especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 3.6 FERRAMENTA VBA

O *MS Excel* é o programa amplamente utilizado na engenharia civil por se tratar de uma ferramenta simples que contém diversos recursos que otimiza o trabalho do aluno ou profissional da engenharia civil. O mesmo conta com uma linguagem de programação muito poderosa chamada “*Visual Basic For Applications (VBA)*”, que segundo Walkenbach (2013), é uma linguagem de programação elaborada pela *Microsoft* que possibilita a criação de funções nos programas do pacote de softwares office com o objetivo de facilitar o uso destes para o usuário.

Ainda segundo Walkenbach (2013), essa ferramenta de programação titulada *VBA* tornou as planilhas eletrônicas do (*Microsoft Office Excel*) mais completa em virtude da possibilidade da criação de funções adicionais, otimizando as planilhas do *MS Excel* de forma abrangente. As rotinas de programação desenvolvidas pelo usuário no *VBA* são conhecidas como macros, que segundo o suporte técnico da *Microsoft* (2017), são as propriedades de programação em que as suas execuções podem ser realizadas quantas vezes o usuário desejar.

Figura 9. Rotina de programação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por se tratar de uma ferramenta bastante complexa no que tange comandos e funções, principalmente para as atividades rotineiras do engenheiro civil no *MS Excel*, O *VBA* fornece algumas vantagens, que para Brito (2016) e Walkenbach (2013) são:

- Ausência de erros, quando as planilhas forem bem elaboradas;
- Redução de tempo, em cálculos muito grandes;
- Interface simples e intuitiva;
- Facilidade de executar tarefas por leigos.

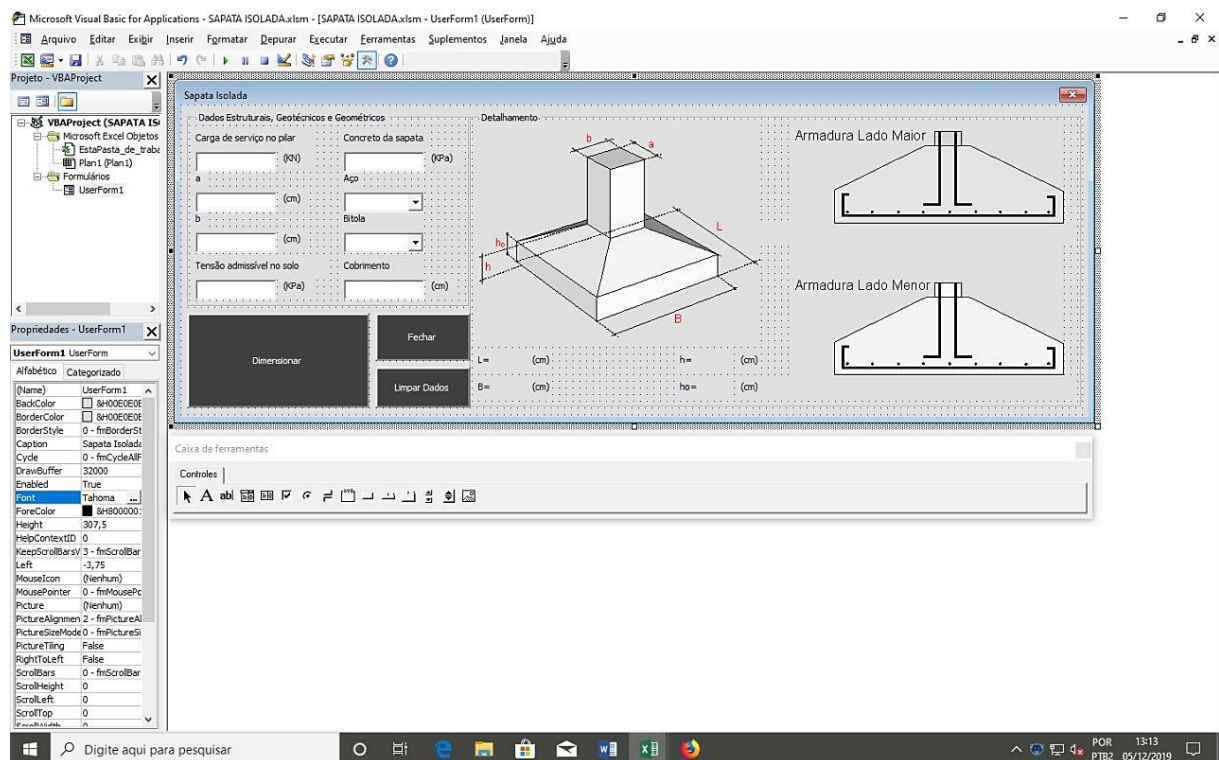
## 4 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo geral do trabalho, será utilizado um projeto estrutural de uma obra residencial elaborada pelo Software Eberick V10 disponível em anexo. Posteriormente, serão verificados quais os parâmetros de dimensionamento adotados pelo programa, pela ferramenta desenvolvida em VBA e, por fim, um comparativo das dimensões calculadas da sapata pelas duas ferramentas computacionais.

O eberick após realizar o dimensionamento dos elementos estruturais do projeto, gera um relatório de cargas nas fundações. Na planta de cargas, o usuário pode consultar todas as reações possíveis geradas pelo elemento de fundação para utilizar em cálculos de terceiros, para verificar se o programa superdimensionou as sapatas isoladas. No software, o usuário tem a opção de clicar na aba “Sapatas” e conferir o relatório de cálculo das sapatas gerado pelo programa para poder fazer a conferência com outra ferramenta de dimensionamento.

Para poder fazer essa conferência, será desenvolvido uma ferramenta em VBA com o auxílio do editor VBE do *Microsoft Excel* para realizar o dimensionamento das sapatas isoladas empregadas no projeto estrutural.

Figura 10. Ambiente para lançamento de dados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nesta ferramenta o usuário poderá executar o programa e, posteriormente, preencher as caixas de textos com as informações contidas no relatório de cálculo das sapatas fornecidas pelo Software Eberick V10, como:

- Carga de trabalho do pilar;
- Dimensão da seção do pilar;
- Tensão Admissível do Solo;
- Concreto da sapata ( $F_{ck}$ );
- Tipo de aço;
- Bitola utilizada;
- Cobrimento.

Após o lançamento dos dados no programa, o usuário poderá realizar o cálculo das dimensões da fundação clicando sobre o botão “Dimensionar”, realizando o cálculo da área de aço e detalhando as armaduras da base da sapata. Esse procedimento poderá ser feito para todas as sapatas isoladas utilizadas no projeto, ressaltando que o comparativo será feito apenas para as suas dimensões.

Por fim, após todas as sapatas terem sido dimensionadas, o programa desenvolvido em VBA irá gerar um relatório no formato .xml ou PDF comparando o dimensionamento realizado pelos dois programas, possibilitando:

- Identificar as variações de dimensionamento pelos dois programas;
- Verificar se as sapatas foram superdimensionadas pelo Software Eberick V10.

Figura 11. Comparativo de dimensões

| Dimensionamento da sapata isolada pelas duas ferramentas computacionais |             |        |        |         |        |        |        |         |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Pilar                                                                   | Eberick V10 |        |        |         | VBA    |        |        |         |
|                                                                         | L (cm)      | B (cm) | H (cm) | ho (cm) | L (cm) | B (cm) | H (cm) | ho (cm) |
| P1                                                                      |             |        |        |         |        |        |        |         |
| P2                                                                      |             |        |        |         |        |        |        |         |
| P3                                                                      |             |        |        |         |        |        |        |         |
| P4                                                                      |             |        |        |         |        |        |        |         |
| P5                                                                      |             |        |        |         |        |        |        |         |
| ...                                                                     |             |        |        |         |        |        |        |         |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

## 5 CRONOGRAMA

Tabela 2 - Cronograma da pesquisa

| Atividades                                             | 2019   |          |         |          |          | 2020    |           |       |       |      |       |       |
|--------------------------------------------------------|--------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|-------|-------|------|-------|-------|
|                                                        | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maio | Junho | Julho |
| <b>1ª Etapa: Preparação do tema</b>                    |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Definição do tema                                      |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Pesquisa Bibliográfica                                 |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Desenvolvimento do Projeto                             |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Apresentação do Projeto                                |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| <b>2ª Etapa: Aplicação da Ferramenta Computacional</b> |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Programação                                            |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Autenticação do programa                               |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Ajuste do programa                                     |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Ensaio de aceitação                                    |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Análise Comparativa                                    |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Desenvolvimento do Artigo                              |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |
| Submissão do Artigo                                    |        |          |         |          |          |         |           |       |       |      |       |       |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

## **6 RESULTADOS ESPERADOS**

Com base nas comparações de dimensionamento a serem obtidas, espera-se verificar com base nas dimensões calculadas pelas duas ferramentas computacionais se o Software Eberick V10 aumentou o consumo de concreto e aço das sapatas isoladas empregadas no projeto.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ALONSO, U. R. (1983) **Exercícios de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher. 201 p.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. 319 p.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos (2016). **Notas de aula – Sapatas de fundação**. Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

BRITO, A, H, C. **Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para estimativa da capacidade de carga em estacas hélice contínua**. Porto Nacional/TO, Trabalho de conclusão de curso, 2016, 86 p.

HACHICH, Waldemar. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.

LUIS FILIPE LONGO (Brasil). **Principais configurações de dimensionamento: sapatas**. 2019. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360000359354-Principais-configura%C3%A7%C3%B5es-de-dimensionamento-sapatas>>. Acesso em: 18 nov. 2019.

MACHADO, T. G.; GOULART, B. L. **Análise comportamental de estrutura pré-moldada de concreto e as deformações sofridas em decorrência dos recalques diferenciais oriundos do uso de fundações híbridas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC. 2018.

ODEBRECHT, Edgar.; SCHNAID, Fernando. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

PATRICIO, D. J. **Avaliação de Desempenho de Radiers na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 2019.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

SENA, L. **Estudo de caso sobre projetos de fundações por sapatas e por estacas. Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2016.

STEINDORFF, D. E. **Comparação em soluções de divisa: sapatas e vigas de equilíbrio**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS. 2017.

SOUSA, Mauro *et. al.* **Automatização de projetos executivos de fundações superficiais com auxílio da ferramenta VBA nos softwares MS Excel e AutoCAD**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018.

VELLOSO, D. A. ; LOPES, F. R. **Fundações**. 1ed. Rio de Janeiro: Oficina de textos, 2004. 231p.

WALKENBACH J. **Programando Excel© VBA para leigos**. Rio de Janeiro, RJ: Alta books, 2 ed., p. 2 – 30. 2013.

## ANEXOS

