



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



DAMIANA ANDREIA TAVARES SOARES

SIMULAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS NA CIDADE DE SOUSA-PB

Cajazeiras-PB, 2020

DAMIANA ANDREIA TAVARES SOARES

**SIMULAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS
NA CIDADE DE SOUSA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. MSc. Jefferson Heráclito Alves de Souza e Coorientação do Prof. José Lucas Pessoa de Oliveira

Cajazeiras-PB, 2020

Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

S676s

Soares, Damiana Andreia Tavares

Simulação do dimensionamento de sapatas isoladas na cidade de Sousa-PB / Damiana Andreia Tavares Soares; orientador Jefferson Heráclito Alves de Souza; coorientação José Lucas Pessoa de Oliveira.- 2020.

44 f.: il.

Orientador: Jefferson Heráclito Alves de Souza.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Fundações superficiais 2. Sapatas isoladas 3. Projetos estruturais
4. Dimensionamento – Engenharia Civil I. Título

624.15(0.067)

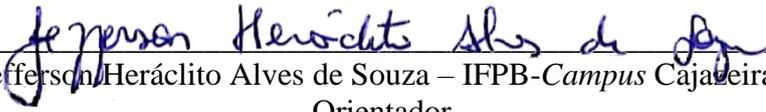
DAMIANA ANDREIA TAVARES SOARES

**SIMULAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS NA CIDADE
DE SOUSA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 17 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA


Jefferson Heráclito Alves de Souza – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientador


José Lucas Pessoa de Oliveira – IFPB-Campus Cajazeiras
Coorientador


Aparecida Evangelista Cartaxo – URCA-Campus Crajubar
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba - IFPB, *Campus* Cajazeiras por proporcionar as condições necessárias para a conclusão desse curso, através dos auxílios estudantis e infraestrutura. Agradeço por se tornar uma segunda casa à todos os estudantes, com um ambiente tão bonito e agradável.

Ao meu pai, Antônio de Paula Tavares, não tenho palavras para expressar todo meu carinho, amor e gratidão por todos os esforços que foram feitos para me oferecer as melhores condições possíveis para a conclusão deste curso, além de tantos conselhos e momentos de apoio. À minha mãe, Leila Maria, por todo o carinho e apoio para a realização de um sonho. Aos meus irmãos, obrigada por me ajudarem nos momentos de estresse e pelo carinho.

À Beatriz Fernandes, obrigada por todo o apoio dado em todos os momentos desde o início de nossa amizade, pela ajuda nos trabalhos e projetos do curso, pelos momentos de conversa e diversão tão necessários durante todos esses anos. À Luan Furtado, agradeço pela ajuda durante a execução desse TCC, pelas revisões e opiniões tão assertivas sobre tudo, assim como durante esses anos e outros trabalhos de grupo, pela amizade, pelo carinho e companheirismo ao longo das dificuldades que enfrentamos, além de manter a calma por mim durante os períodos de sufoco e estresse. Aos dois, obrigada por serem o melhor grupo que existe em todos esses trabalhos e projetos, apesar das desavenças ocasionais. À Roberta de Sousa e Roneide Martins, obrigada pela amizade, companhia e diversão que tivemos durante todo esse tempo. Aos demais que não foram citados nominalmente, obrigada por todos os momentos que guardarei para sempre.

Ao meu orientador, Jefferson Heráclito, e coorientador, Lucas Pessoa, obrigada pela ajuda, suporte e direcionamento para a execução e entrega desse trabalho.

Agradeço também a todos os professores com os quais tive o prazer e privilégio de aprender. Por fim, às professoras engenheiras que tiveram papel fundamental em minha formação e paixão pela engenharia civil.

RESUMO

As construções detêm grande importância desde o início das formações humanas como sociedade. Toda edificação é assentada no solo, o que torna essencial o estudo e determinação de suas características e propriedades, ambas intrinsecamente ligadas à sua capacidade de suporte. A resistência do solo pode ser obtida por meio de investigação geotécnica, constituída, no mínimo, de uma sondagem à percussão. As fundações são elementos responsáveis por realizar a transferência de cargas da superestrutura, composta por pilares, vigas e lajes, para o solo. Existem dois grupos de subestruturas sendo estas superficiais, que apresentam profundidade de assentamento inferior a duas vezes sua menor dimensão, e profundas, quando transmitem ao terreno suas cargas tanto pelo fuste como pela ponta, cuja profundidade deverá ser superior a 3 m. O presente estudo busca realizar o dimensionamento de fundações do tipo sapata isolada para diferentes tipos de projetos estruturais, sendo eles uma casa térrea, de alto padrão, edifício de múltiplos pavimentos e supermercado, considerando as ações solicitantes no pilar de menor e maior carga em todos os exemplos. Os parâmetros foram admitidos com base em laudo de sondagem SPT, realizada na cidade de Sousa-PB. Através do dimensionamento geotécnico e estrutural dos elementos, foram obtidas sapatas com dimensões variadas, sendo o menor valor a seção mínima admissível pela norma. Para o edifício de múltiplos pavimentos, foi determinada a maior fundação entre os pontos analisados, dada sua maior solicitação. Houve uma variação de seção entre 60 cm x 60 cm e 160 cm x 140 cm.

Palavras-Chave: Fundações superficiais; Sapatas isoladas; Projetos estruturais; Dimensionamento.

ABSTRACT

The constructions have great importance since the beginning of the human formations as a society. Every building is settled on soil what makes essential the study and determination of its characteristics and proprieties, both intrinsically linked to its support capacity. The soil resistance can be obtained by means of geotechnical research, containing at least one standard penetration test. The foundations are responsible to transfer the loads of the superstructures composed of pillars, beams, and slabs to the soil. There are two groups of superstructures: superficial, which presents a settlement depth lower than the twice of their smallest dimension, and deep, when they transmit their loads to the land both by the shaft and the edge, whose depth must be greater than 3 m. The present study aims at performing the dimensioning of isolated shallow foundations for different sorts of structural projects which are one-story house of high standard, building with multiple floors, and a supermarket, considering the requested actions at the pillar of lower and higher load in all cases. The parameters were admitted based on a SPT poll report, conducted in the city of Sousa-PB. Through geotechnical and structural dimensioning of the elements were obtained shallow foundations with different dimensions, being the lowest value, the minimum admitted by the norm. For the building with multiple floors was established the largest foundation between the analyzed points, given its greater request. There was a section variation between 60 cm x 60 cm and 160 cm x 140 cm.

Keywords: Superficial foundations; Isolated shallow foundations; Structural projects; Dimensioning.

SUMÁRIO

1 Introdução	8
2 Referencial teórico	10
2.1 FUNDAÇÃO	10
2.1.1 Tipos de fundação.....	10
2.2 CAPACIDADE DE CARGA	11
2.3 DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES.....	14
2.3.1 Dimensionamento geotécnico.....	14
2.3.2 Dimensionamento estrutural.....	15
2.4 ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA.....	22
3 Método da pesquisa	23
4 Resultados da pesquisa.....	26
4.1 TENSÃO ADMISSÍVEL DO SOLO	26
4.2 DIMENSIONAMENTO DAS SAPATAS	27
5 Considerações finais	37
Referências	38
ANEXOS	41

1 Introdução

Desde o início da organização humana como civilização, no período Neolítico, as construções, de modo geral, apresentam grande importância nesse cenário, especialmente por permitir seu assentamento em locais fixos. Quando foram executadas as primeiras construções de madeira (tendas), o homem percebeu a importância da boa sustentação delas, especialmente em solos com características frágeis, através do uso de tijolos feitos conforme a tecnologia da época (NÁPOLES NETO; VARGAS, 1998).

Dada a evolução da sociedade, bem como seu conhecimento nas diversas áreas, o aprimoramento das técnicas construtivas para o embasamento das estruturas possibilitou a construção de grandes monumentos da idade clássica, existentes até os dias atuais na Grécia, Itália e Egito, por exemplo. Atualmente, são executados vários tipos de fundações com maiores complexidades, condizentes com o aperfeiçoamento da engenharia estrutural ao longo do tempo, para atender as necessidades de nossa época, como habitação, comércio ou mesmo lazer (NÁPOLES NETO; VARGAS, 1998).

Segundo Arceno (2018), fundação é o componente estrutural responsável por transmitir ao terreno as cargas atuantes na superestrutura, composta por pilares, vigas e lajes. O projeto e execução de fundações requer conhecimento de diferentes áreas da engenharia civil, especialmente a Geotecnia e o Cálculo estrutural, através dos conhecimentos sobre diversos tópicos relacionados ao solo, como origem e formação do mesmo, caracterização e classificação, de acordo com diferentes parâmetros, entre outros (VELLOSO; LOPES, 2010).

De acordo com a NBR 6122:2019, as fundações podem ser divididas em dois tipos: superficiais e profundas. Segundo Velloso e Lopes (2010), a distinção entre as duas tipologias é feita segundo o critério arbitrário de que, em fundações profundas, o mecanismo de ruptura de base não surge na superfície do terreno. Assim, a NBR 6122:2019 determina fundações superficiais como aquelas cuja base está assentada a uma profundidade inferior a duas vezes sua menor dimensão, sendo a transmissão do carregamento feito unicamente pela base da estrutura. As profundas são aquelas cuja transmissão é feita pela base e/ou pela superfície lateral, estando assentada com profundidade superior a oito vezes sua menor dimensão e no mínimo três metros (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2019).

Marangon (2018) ressalta que uma obra executada sem o devido conhecimento do subsolo implica na adoção de uma fundação que pode não ser aquela mais adequada à construção, em aspectos técnicos e econômicos, podendo trazer sérios problemas em curto

prazo, tanto para o proprietário, quanto para o responsável técnico pelo elemento, como a manifestação de patologias. Para isto, a NBR 6122:2019 determina como obrigatória a execução de uma investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo pela sondagem à percussão (sondagem SPT – *Standard Penetration Test*), visando a determinação do tipo de solo, perfil geotécnico das camadas de solo, nível de água e índice de resistência a penetração (ABNT, 2019).

Segundo Pfeng et al. (2014), apesar da importância das sondagens para a construção civil, esta é efetuada apenas para grandes construções, apesar de ser necessária independente do porte ou tipo de edificação. Segundo o autor, isto acontece devido à visão que a investigação geológica é uma etapa que encarece a obra, porém apresenta um melhor custo-benefício no resultado final, como o dimensionamento correto das fundações, de acordo com as condições reais do terreno, além da segurança dos usuários.

Desta forma, o presente trabalho visa realizar a apresentação do tipo de fundação superficial compatível para diferentes tipos de projeto estrutural, dimensionando-os através de um estudo de caso. Foi realizado o estudo de um perfil geológico de uma sondagem SPT realizada em Sousa-PB, em seguida determinada a capacidade de carga do solo e efetuado o dimensionamento geotécnico e estrutural dos elementos de fundação.

2 Referencial teórico

2.1 FUNDAÇÃO

As fundações podem ser definidas como “a parte de uma estrutura que transmite ao terreno subjacente a carga da obra” (CAPUTO, 2017, p.193). Deste modo, trata-se de uma subestrutura composta por elementos estruturais localizados abaixo do solo ou aqueles com finalidade de transmitir as ações geradas na superestrutura (elementos acima do nível do terreno), geralmente na direção vertical, estando limitada à capacidade de absorção de cargas do solo ao qual está assentada (LIRA; RIBEIRO, 2019).

São componentes estruturais primordiais na construção de edifícios ou qualquer obra de engenharia, onde a definição da tipologia a ser empregada em um determinado projeto implica em consideráveis custos à obra, que podem acarretar um valor antieconômico para a construção se não forem analisadas, comparadas e estudadas (CUNHA, 2016).

Segundo Prudêncio, “para a elaboração de projetos de fundação, seguros e econômicos, é necessário preceder-se a identificação e a classificação das diversas camadas componentes do substrato a ser analisado, bem como a avaliação das suas propriedades de engenharia” (2011, p.16).

Embora a execução de fundações sem o devido conhecimento das propriedades do solo possa implicar na escolha inadequada da mesma, impactando economicamente no valor final da construção e ocasionando possíveis patologias, a sondagem não é comumente utilizada na etapa preliminar ao projeto em projetos de pequeno porte, conforme a norma preconiza (MAIA, 2019).

2.1.1 Tipos de fundação

Segundo Barros e Torres (2010), existem diversos tipos de fundações, adequados para determinada situação, podendo variar a cargo de múltiplos fatores, onde os fatores principais são as características do solo.

A NBR 6122:2019 determina que as fundações podem ser divididas em dois grupos: fundações superficiais (rasas ou diretas) e profundas. A primeira é aquela cuja base está assentada a uma profundidade inferior a duas vezes sua menor dimensão, onde a transmissão do carregamento é feita pela base da estrutura. A segunda é aquela que transmite ao terreno pela

base (resistência de ponta) e/ou pela superfície lateral (resistência de fuste), sendo a ponta assentada com fundo superior a oito vezes a menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m (ABNT, 2019).

Dentre as fundações superficiais, estas ainda são divididas em três tipos: bloco, sapata ou *radier*, onde cada uma possui características que determinam aquela a ser escolhida pelo projetista.

- Bloco: “são elementos de concreto ou outros materiais tais como alvenarias ou pedras, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo material sem necessidade de armadura” (ABNT, 2019, p. 3);
- Sapata: “elemento de fundação rasa, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim” (ABNT, 2019, p. 8);
- *Radier*: “elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70 % das cargas da estrutura” (ABNT, 2019, p. 7).

Segundo Rebello (2008), sapata isolada é uma placa de concreto armado cujas dimensões em planta são de mesma ordem de grandeza, sendo usada quando as cargas transmitidas pela superestrutura são pontuais e concentradas, como carregamentos de pilares e reações de vigas baldrame, por exemplo.

De acordo com Brito (1987, *apud* BARROS; TORRES, 2010), vários aspectos devem ser considerados para a definição da fundação mais adequada, como as características do solo, topografia da área, parâmetros estruturais da construção, estruturas próximas, aspectos econômicos, entre outros. Projetos de subestrutura bem concebidos irão corresponder de 3% a 10% do custo total da construção; do contrário, podem atingir entre 5 e 10 vezes a despesa necessária.

2.2 CAPACIDADE DE CARGA

Em qualquer obra de Engenharia Civil, o assentamento desta é feita no solo, o que requer que uma investigação do comportamento do solo seja realizada. Por isso, dá-se a enorme importância do estudo da mecânica dos solos, pois o terreno irá receber os esforços transmitidos pela estrutura, de qualquer tipo (BARROS; TORRES, 2010).

Segundo Rebello (2008), recalque pode ser definido com a deformação que ocorre no solo quando recebe carregamento. De acordo com o autor, tal alteração provoca o movimento

da fundação, onde, a depender da intensidade, pode haver graves danos à superestrutura, sendo o processo de adensamento o mais importante e causador mais comum dos problemas relacionados ao recalque.

Imaginando-se uma sapata com dimensão de base B e submetida a uma carga Q , crescente a partir de zero, é possível medir os valores de Q e o deslocamento vertical correspondente (recalque) causado pelo carregamento. Para valores pequenos de carga Q , o recalque gerado é aproximadamente proporcional, sendo esta a fase elástica, onde o deslocamento estabiliza com o tempo, sendo reversível nesta etapa (VELLOSO; LOPES, 2010).

Na segunda fase, estado plástico, a zona plástica inicia junto às bordas da fundação, e o deslocamento gerado caracteriza-se por ser irreversível. Para maiores cargas, ocorre um recalque continuado e sua velocidade de ocorrência não diminui mesmo com carga constante, assumindo também valor invariável, e a resistência ao cisalhamento do solo é totalmente mobilizada para resistir ao carregamento em algumas regiões. Na terceira fase, a velocidade do recalque aumenta até o ponto de ruptura do solo. Para este carregamento, determina-se a capacidade de carga na ruptura, ou seja, o limite da resistência da fundação (VELLOSO; LOPES, 2010).

Portanto, a capacidade de carga da fundação é a “tensão que coloca o sistema sapata-solo na iminência de ruptura” (FERREIRA, 2013, p.27). A NBR 6122:2019, denomina a carga de ruptura da fundação como o carregamento que, aplicado à fundação, acarreta perda do equilíbrio estático ou deslocamento que compromete sua segurança e desempenho, sendo a força resistente última da subestrutura (ABNT, 2019). Logo, esta será a tensão de ruptura do solo.

A tensão admissível de uma fundação será a máxima tensão que, aplicada ao terreno pela base da subestrutura, atende, com fatores de segurança predeterminados, aos estados limites último e de serviço (ABNT, 2019). Pode ser determinada por três métodos estabelecidos pela norma: provas de carga sobre placa e os métodos teóricos e semiempíricos, com suas respectivas formulações.

Na literatura, existem diferentes métodos semiempíricos utilizados no Brasil. Estes são definidos através da relação com resultados obtidos em ensaios (SPT, CPT, entre outros) com tensões admissíveis ou resistentes de cálculo, devendo ser observado o domínio de validade de suas aplicações, assim como a dispersão entre os dados e limitações regionais (ABNT, 2019).

A metodologia proposta por Teixeira, em 1996, é definida de acordo com a equação (1), aplicável para qualquer tipo de solo (NOGUCHI, 2012).

$$q_{adm} = 0,05 + (1 + 0,4 \times B) \times \frac{N_{SPT}}{100} \quad (1)$$

Onde:

q_{adm} : Tensão admissível por Teixeira (MPa);

B: Menor dimensão de base da sapata (m);

N_{SPT} : Número de golpes SPT médio.

A metodologia proposta por Cintra, em 2004, é definida de acordo com a equação (2), para qualquer tipo de solo e válida para variação entre 5 e 20 do número de golpes SPT (GOMES et al., 2020).

$$q_{adm} = \frac{N_{SPT}}{5} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

q_{adm} : Tensão admissível por Cintra (MPa);

N_{SPT} : Número de golpes SPT médio.

A metodologia proposta por Mello, em 1975, é definida de acordo com a equação (3), para qualquer tipo de solo e variação do número de golpes SPT de 4 a 16 (CINTRA et al. 1996).

$$q_{adm} = 0,1 \times (\sqrt{N_{SPT}} - 1) \quad (3)$$

Onde:

q_{adm} : Tensão admissível por Mello (MPa);

N_{SPT} : Número de golpes SPT médio.

Segundo a NBR 6122:2019, os métodos semiempíricos devem considerar o fator de segurança como o proposto no próprio método utilizado, sendo no mínimo 3,0 (ABNT, 2019). Além disso, o valor considerado para o dimensionamento é a média aritmética entre os valores obtidos de acordo com os métodos aplicados.

De acordo com Colares (2006), o valor do N_{SPT} é calculado como a média aritmética da resistência à penetração das camadas compreendidas no bulbo de tensões, sendo este com a profundidade calculada conforme a equação (4).

$$p = 1,5 \times B \quad (4)$$

Onde:

p: Profundidade do bulbo de tensões (m);

B: Menor dimensão da sapata (m).

2.3 DIMENSIONAMENTO DAS FUNDAÇÕES

2.3.1 Dimensionamento geotécnico

O dimensionamento de uma fundação é feito em função da carga aplicada (carregamento dos pilares ou apoio de vigas baldrame) e a resistência do solo (VELLOSO; LOPES, 2010). Assim, a área de base dá-se por:

$$S_{SAP} = \frac{P}{\sigma_S} \quad (5)$$

Onde:

S_{SAP} : Área de base da sapata (cm^2);

P: Carregamento aplicado na sapata + Peso próprio do elemento (kgf);

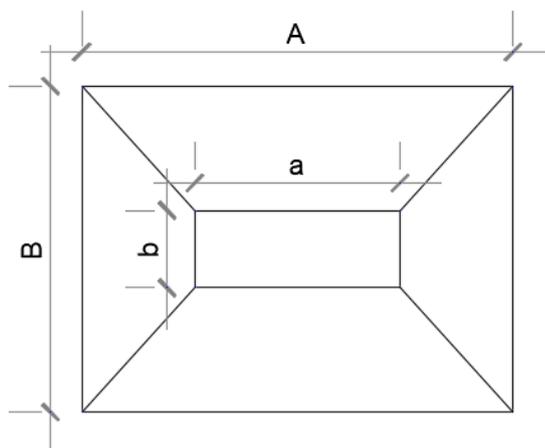
σ_S : Tensão admissível do solo (kgf/cm^2).

A consideração do peso próprio da fundação deve ser feita através do cálculo do volume do elemento, aplicando-se a correlação com o peso específico do concreto armado ($25\text{kN}/\text{m}^3$), ou no mínimo 5% da carga vertical permanente (ABNT, 2019).

Segundo Alva (2007), o carregamento P utilizado no cálculo da equação (5) é obtido através da multiplicação do carregamento aplicado na sapata, pelo pilar, e o coeficiente de majoração α , que vale 1,10 para sapatas rígidas.

Para sapatas retangulares e quadradas, as dimensões são definidas a partir das representações A e B, sendo estas o maior e menor tamanho horizontal da sapata, respectivamente, conforme a Figura 1.

Figura 1- Dimensões de base de uma sapata isolada



Fonte: Autoria própria, 2020.

Logo, a área de uma sapata também pode ser definida como $S_{SAP} = A \times B$. Então, através da igualdade entre as formulações, tem-se que:

$$A \times B = \frac{P}{\sigma_S} \quad (6)$$

Para sapatas retangulares, a relação mais econômica entre as dimensões A e B é aquela em que os momentos fletores em relação às faces do pilar (a e b) são iguais (VELLOSO; LOPES, 2010).

Através da relação entre os lados, conforme as dimensões na Figura 1, tem-se a equação (7):

$$A - B = a - b \quad (7)$$

Simplificadamente, o resultado obtido é o seguinte:

$$B = \frac{(b - a)}{2} + \sqrt{\frac{(b - a)^2}{4} + S_{SAP}} \quad (8)$$

$$A = \frac{S_{SAP}}{B} \quad (9)$$

Onde:

S_{SAP} : Área de base da sapata (cm²);

A: maior dimensão em planta da sapata (cm);

B: menor dimensão em planta da sapata (cm);

a: maior dimensão em planta do pilar (cm);

b: menor dimensão em planta do pilar (cm);

Segundo a NBR 6122:2019, a dimensão mínima admissível é 60 cm. Portanto, caso o valor calculado seja menor, deve ser aplicado este critério (ABNT, 2019).

2.3.2 Dimensionamento estrutural

Carvalho e Pinheiro (2009) dizem como fundamental o correto detalhamento da armadura para conferir a estabilidade necessária, boa funcionalidade e durabilidade à fundação. No Brasil, o projeto e dimensionamento de sapatas rígidas é realizado através do Método das Bielas e Tirantes, normatizado através da NBR 6118:2014 e NBR 6122:2019. Para sapatas flexíveis, o método adotado é o da flexão.

Segundo a NBR 6118: 2014, a sapata é considerada rígida quando se verifica a equação (10):

$$h \geq \frac{a - a_p}{3} \quad (10)$$

Onde:

h: altura da sapata (m);

a: dimensão da sapata em determinada direção (m);

a_p : dimensão do pilar na mesma direção (m).

Segundo Alva (2007), sapatas rígidas são adotadas como elemento de fundação em terrenos que possuam boa resistência em camadas superficiais. Para este tipo de subestrutura, pode-se admitir uma distribuição uniforme de tensões normais no contato entre a fundação e o terreno, caso não disponha de melhores informações a respeito (ABNT, 2014).

O comportamento estrutural das sapatas rígidas caracteriza-se por:

- a) trabalho à flexão nas duas direções, admitindo-se, para cada uma delas, que a tração na flexão seja uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. Tal hipótese não se aplica à compressão na flexão, que se concentra na região do pilar que se apoia na sapata, assim como ao caso de fundações muito alongadas em relação à coluna (ABNT, 2014);
- b) trabalho ao cisalhamento em duas direções, não representando ruptura por tração diagonal, mas por compressão diagonal (ABNT, 2014).

Para tais elementos, o método de dimensionamento adotado é o Método das Bielas e Tirantes (ABNT, 2014). Esta metodologia adota uma analogia, para o dimensionamento da sapata de concreto armado, com uma treliça, onde faixas do concreto estão resistindo aos esforços de compressão e as armaduras de aço, localizadas na base do elemento, encontram-se resistindo aos esforços de tração (LOURENÇÃO et al., 2017).

Deste modo, o procedimento de cálculo segue as seguintes etapas:

- a) Determinação da altura da sapata:

A altura do elemento será dada através da equação (10), considerando ambos os lados da sapata. Além disso, é necessário a verificação do comprimento de ancoragem da armadura do arranque de pilar e cobrimento (ALVA, 2007). Logo:

$$h > l_b + c \quad (11)$$

Onde:

h: altura da sapata (m);

l_b : comprimento de ancoragem da barra de aço (m);

c: cobrimento mínimo da armadura, estabelecido pela NBR 6118:2014 (m).

Como a armação é posicionada na base do elemento de fundação, é considerada como ancorada numa região de boa aderência, com utilização de gancho. O comprimento de ancoragem necessário da armadura do pilar pode ser determinado através da Figura 2, sendo determinado em função do diâmetro da barra utilizada nas condições de ancoragem do elemento e considerando também a utilização de barras nervuradas, aplicável para diâmetros inferiores à 32 mm.

Figura 2-Comprimento de ancoragem para barras nervuradas

f_{ck} (MPa)	Boa aderência		Má aderência	
	sem gancho	com gancho	sem gancho	com gancho
20	44 Φ	31 Φ	62 Φ	44 Φ
25	38 Φ	26 Φ	54 Φ	38 Φ
30	33 Φ	23 Φ	48 Φ	33 Φ
35	30 Φ	21 Φ	43 Φ	30 Φ
40	28 Φ	19 Φ	39 Φ	28 Φ
45	25 Φ	18 Φ	36 Φ	25 Φ
50	24 Φ	17 Φ	34 Φ	24 Φ

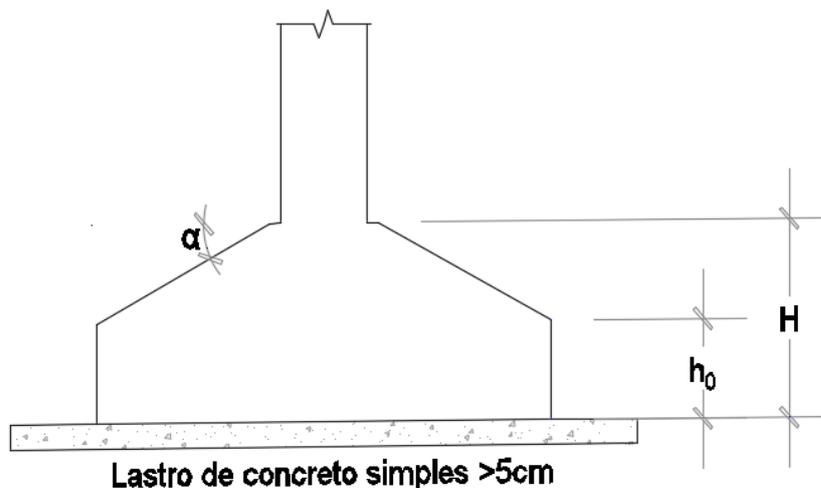
Fonte: VIEIRA, 2014.

Deste modo, faz-se a comparação entre os resultados obtidos nas equações (10) e (11), tomando o maior valor entre estes.

Segundo Duarte Júnior (2016), a altura h_0 é determinada de acordo com a relação da equação (12) e conforme ilustrado na Figura 3, adotando-se o maior entre os valores obtidos.

$$h_0 \geq \begin{cases} 20 \text{ cm} \\ \frac{h}{3}, \text{ em cm} \end{cases} \quad (12)$$

Figura 3-Altura da sapata



Fonte: Adaptado de Bastos, 2019.

Segundo Bastos (2019), o ângulo da inclinação α deve ser igual ou menor que 30° , sendo este o ângulo do talude natural do concreto fresco, visando evitar a necessidade de fôrma durante a construção da sapata. Caso não seja possível atender este critério, é realizada a montagem em formato retangular.

b) Verificação da altura útil da sapata:

A altura útil de uma sapata será definida através da equação (13):

$$d = h - c - \frac{\phi_1}{2} \quad (13)$$

Onde:

d: altura útil (cm);

h: altura da sapata (m);

c: cobrimento mínimo admitido pela norma (cm);

ϕ_1 : diâmetro da barra de aço da sapata (cm).

Para o atendimento ao comprimento de ancoragem necessário, a altura útil do elemento deve ser maior que o mesmo.

c) Tração nas armaduras:

O esforço de tração na armadura é calculado de acordo com a equação (14):

$$T_A = P \times \frac{A - a}{8 \times d} \quad (14)$$

Onde:

T_A : tração na armadura de flexão, na direção de A (N);

P: esforço solicitante de projeto (N)

A: dimensão de base da sapata (cm);

a: dimensão do pilar na mesma direção (cm);

d: altura útil da sapata (cm).

Para a direção B, aplica-se a mesma relação da equação (14), substituindo-se os valores dos parâmetros 'A' e 'a' por 'B' e 'b', respectivamente, sendo B a dimensão da sapata e 'b' a largura correspondente do pilar.

d) Área de armadura:

Através do cálculo anterior, aplica-se a relação do esforço obtido e a área de aço necessária para o elemento de fundação através da equação (15):

$$A_{SA} = \frac{1,4 \times T_A}{f_{yd}} \quad (15)$$

Onde:

A_{SA} : área de aço na direção A (m²);

T_A : esforço de tração na direção A (N);

f_{yd} : resistência de projeto do aço adotado, CA-50 (Pa).

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} \quad (16)$$

Analogamente ao item anterior, a área de aço para a direção B é calculada substituindo-se o esforço para o valor de T_B .

e) Armadura mínima:

De acordo com Bastos (2019), a NBR 6118:2014 não define uma armadura mínima de flexão para sapatas. No entanto, pode ser adotado como critério o parâmetro definido para vigas e lajes (ALVA, 2007; DUARTE JÚNIOR, 2016).

Segundo a NBR 6118:2014, a taxa de armadura mínima necessária para vigas e lajes é 0,15%, para concreto com f_{ck} de 25 MPa. Portanto, a mesma é determinada através da multiplicação de 0,15% pela área de concreto da sapata, considerando a forma de tronco de cone. Para o lado A, determina-se através da equação (17):

$$A_{SA,min} = \frac{0,15}{100} \times \left(B \times h_0 + \frac{B + b}{2} \times (h - h_0) \right) \quad (17)$$

Onde:

$A_{SA,min}$: área de aço mínima, para seção em tronco de cone (cm²);

B: dimensão de base da sapata (cm);

h_0 : altura do colarinho da sapata (cm);

b: dimensão do pilar (cm);

h: altura da sapata (cm).

Para seções retangulares, o cálculo da área de aço mínima é:

$$A_{SA,min} = \frac{0,15}{100} \times B \times h \quad (18)$$

Onde:

$A_{SA,min}$: área de aço mínima, para seção em tronco de cone (cm²);

B: dimensão de base da sapata (cm);

h: altura da sapata (cm).

Analogamente, para o lado B utiliza-se a dimensão A e a largura equivalente do pilar na equação (17) ou (18). Caso a área de aço mínima seja superior à calculada, essa deve ser adotada para o dimensionamento.

f) Detalhamento da armadura:

Através da definição do diâmetro da barra de aço a ser utilizada, prevista durante o cálculo da altura útil, determina-se o número de barras necessário para o atendimento da área de aço prevista.

$$N_A = \frac{4 \times A_{SA}}{\pi \times \phi_1^2} \quad (19)$$

Onde:

N_A : número de barras de aço, na direção A;

A_{SA} : área de aço necessária (cm²);

ϕ_1 : diâmetro da barra de aço adotada (cm).

Segundo a NBR 6118:2014, as barras da armadura principal de tração devem ser espaçadas a no máximo 2h ou 20 cm, prevalecendo o menor dentre esses dois valores (ABNT, 2014).

Para a determinação do espaçamento entre as armaduras para as direções A e B, utiliza-se a equação (20):

$$S_A = \frac{B - (2 \times c + \phi_1)}{N_A - 1} \quad (20)$$

Onde:

S_A : espaçamento entre as barras na direção A (cm);

B: dimensão de base da sapata (cm);

c: cobrimento mínimo (cm)

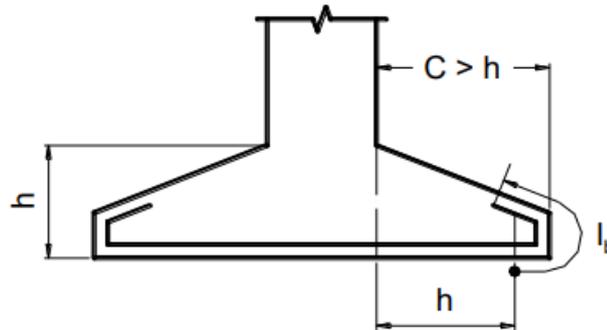
N_A : número de barras de aço na direção A.

Analogamente, para calcular o espaçamento na direção B substitui-se o valor de B por A na equação (20).

Segundo a NBR 6118:2014, a armadura de flexão das sapatas deve possuir distribuição uniforme ao longo da sua largura, estendendo-se integralmente de face a face da sapata e terminada em gancho nas duas extremidades (ABNT, 2014).

Para o cálculo do comprimento do gancho necessário para a ancoragem da armadura de flexão, podem ser adotados os critérios determinados de acordo com a CEB-70. Caso o comprimento do balanço (c) superar a altura da sapata (h), a armadura deve ser ancorada a partir da seção distante h da face do pilar e estender-se até as bordas do elemento, com comprimento de ancoragem l_b , considerado sem gancho para a barra prevista, conforme ilustrado na Figura 4 (BASTOS, 2019).

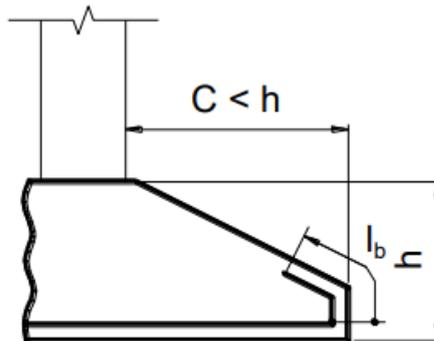
Figura 4-Comprimento do gancho segundo a CEB-70, para $C > h$



Fonte: Bastos, 2019.

Para os casos onde C é inferior à altura, a armadura deve ser totalmente ancorada à borda da sapata, com o comprimento do gancho igual à l_b (BASTOS, 2019).

Figura 5-Comprimento do gancho segundo a CEB-70, para $C < h$



Fonte: Bastos, 2019.

g) Verificação da compressão diagonal:

Segundo Alva (2007), a verificação para ruptura por compressão diagonal é feita na ligação sapata-pilar, na região de contorno do pilar, devendo atender a equação (21):

$$\tau_{sd} \leq \tau_{Rd2} \quad (21)$$

Onde:

τ_{sd} : tensão solicitante (Pa);

τ_{Rd2} : tensão resistente à compressão diagonal da sapata (Pa).

A tensão solicitante é calculada pela equação (22):

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \times d} \quad (22)$$

Onde:

τ_{sd} : tensão solicitante (Pa);

F_{sd} : esforço solicitante de projeto (N);

u : perímetro da seção do pilar (m);

d: altura útil da sapata (m).

A tensão resistente é dada por:

$$\tau_{Rd2} = 0,2 \times \alpha_v \times f_{cd} \quad (23)$$

Onde:

τ_{Rd2} : tensão resistente à compressão diagonal da sapata (Pa);

α_v : valor adimensional, dado por: $\alpha_v = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$ com f_{ck} em (MPa);

f_{cd} : resistência à compressão de projeto do concreto (Pa).

2.4 ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Durante a elaboração do projeto estrutural, de modo geral, a superestrutura é projetada considerando apoios indeslocáveis. No entanto, para qualquer fundação, após a aplicação do carregamento, o terreno se deforma, originando deslocamentos verticais (recalques), horizontais e rotações (REBELLO, 2008). Assim, deve ser analisada a interação entre o solo da fundação e a estrutura, pois, a depender do nível de deformação do terreno e da rigidez da superestrutura, esta interação pode alterar o desempenho da edificação. Apesar disto, esta análise é desprezada em grande parte dos projetos (DANZIGER et al., 2005).

Define-se a interação solo-estrutura como o mecanismo de influência mútua entre superestrutura-sistema de fundação. Inicia-se na fase de construção e continua até que seja atingido o estado de equilíbrio, onde tensões e deformações são estabilizadas em ambos os meios (COLARES, 2006).

O estudo da interação solo-estrutura demonstra como a estrutura, de maneira conjunta, responde às solicitações impostas quando submetida à carregamentos, visando se aproximar do comportamento real da edificação. O mecanismo de interação pode ser associado a diversas variáveis, como a rigidez da estrutura, o processo de carregamento, as características do solo, a geometria em planta da edificação, a influência de edificações vizinhas, a deformada de recalques da edificação, entre outros (BAHIA, 2016).

Segundo Marinho (2019), para areias o recalque total admissível é 40mm, para sapatas isoladas.

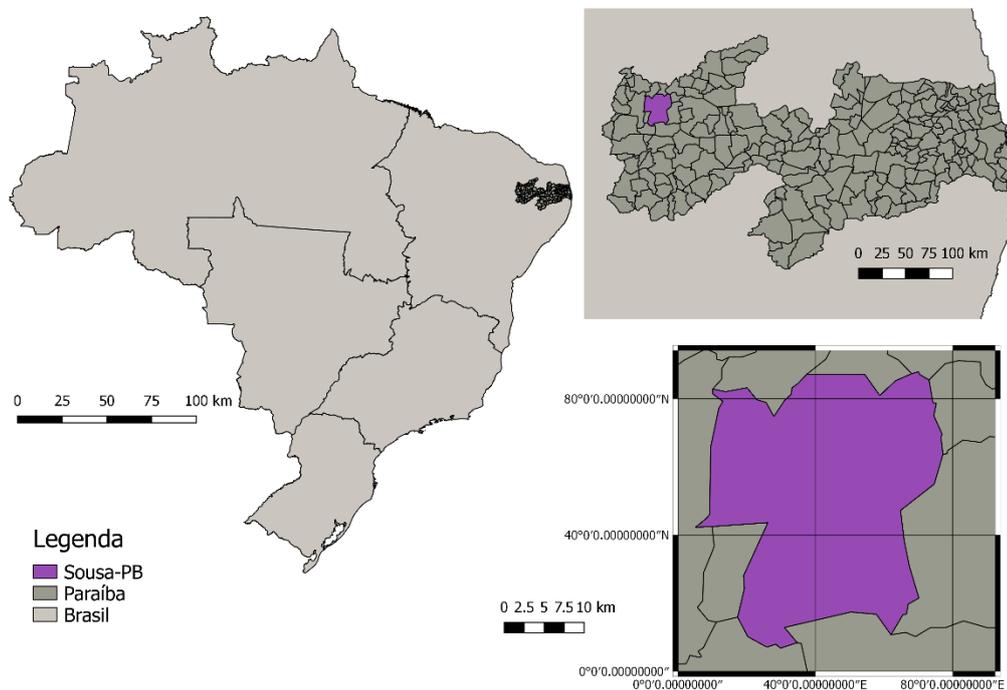
3 Método da pesquisa

A pesquisa realizada é de natureza básica, através da utilização prática de conhecimentos já existentes, com abordagem quantitativa-qualitativa. Quanto ao objetivo, possui caráter exploratório. O procedimento técnico adotado foi uma pesquisa bibliográfica, por meio de um estudo de caso (ARAGÃO; MENDES NETA, 2017).

Deste modo, a etapa inicial foi composta por um levantamento bibliográfico, direcionado pelos objetivos traçados neste estudo, onde realizou-se uma busca através das literaturas disponíveis, visando reunir informações em normas técnicas, artigos científicos, monografias, dissertações, dentre outros materiais na área.

O local de realização do estudo foi a cidade de Sousa, localizada no sertão da Paraíba, a cerca de 440 km da capital do estado João Pessoa, de acordo com a Figura 6. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o município possui população de 69.723 habitantes, de acordo com a previsão do órgão para o ano de 2020. Quanto à economia, possui renda *per capita* de R\$15.606,28, com base em dados para o ano de 2017 (IBGE, 2020).

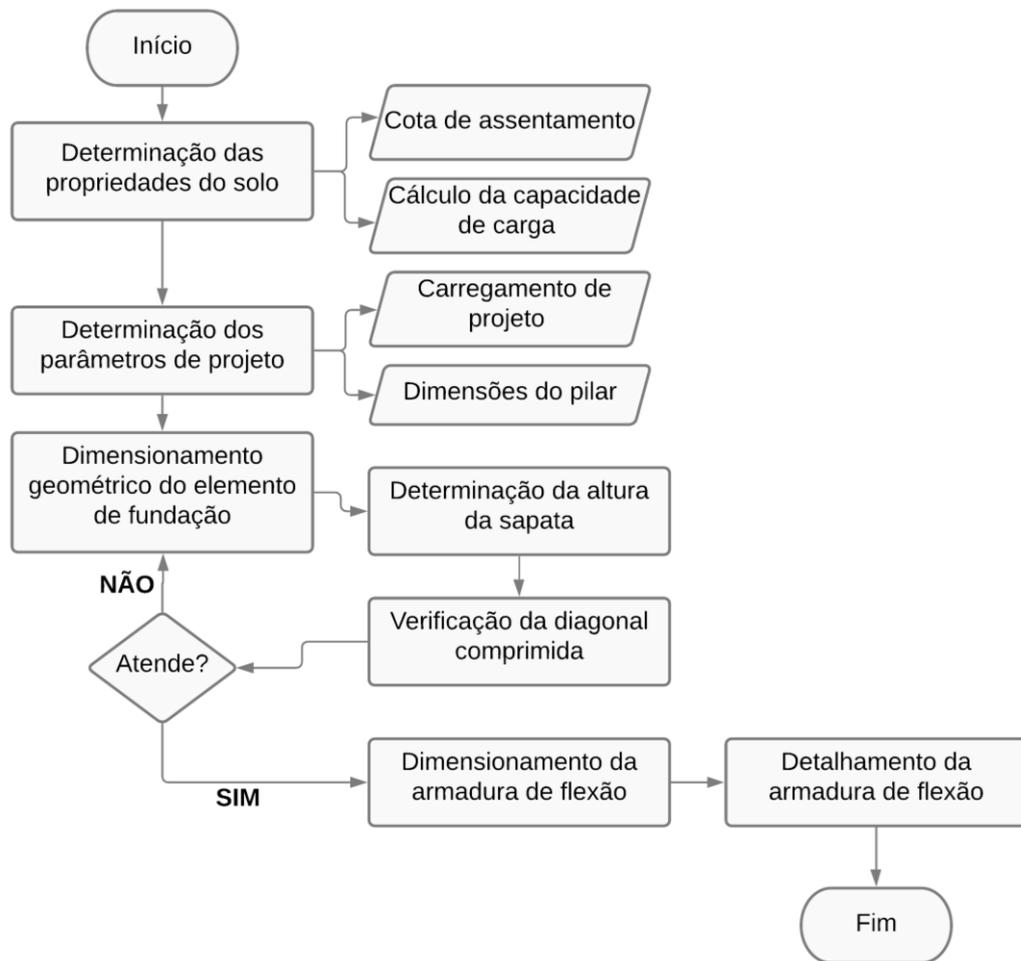
Figura 6-Mapa de localização Sousa-PB



Fonte: Autoria própria, 2020.

Para a execução do dimensionamento dos elementos de fundação, foi utilizado o fluxograma de atividade demonstrado na Figura 7.

Figura 7-Fluxograma das atividades realizadas



Fonte: Autoria própria, 2020.

Para a determinação dos parâmetros iniciais do dimensionamento das fundações, foi realizado o estudo de um perfil geotécnico, referente à uma sondagem realizada em Sousa-PB no dia 08 de novembro de 2019, encontrado no Anexo A. Através da análise, determinou-se a cota de assentamento dos elementos e o N_{SPT} nesta profundidade. Com base nestes dados, foi calculada a capacidade de carga, através do método semiempírico de Terzaghi.

Para o dimensionamento da subestrutura, foram considerados diferentes concepções de projetos estruturais, tais como: edificação térrea, casa de alto padrão, edifício de múltiplos pavimentos e um supermercado. Os referidos projetos não foram concebidos pela autora, sendo obtidos pelos responsáveis do presente trabalho com engenheiros conhecidos. Deste modo, foi realizado o levantamento das condições necessárias para o cálculo do elemento de fundação equivalente, as dimensões em planta do pilar e o esforço solicitante do pilar com maior e menor carregamento, determinado através do quadro de cargas elaborado pelo profissional responsável.

Após o levantamento inicial e determinação das cargas de projeto, houve a realização do dimensionamento geométrico da subestrutura, através da determinação de suas dimensões em planta.

Em sequência, realizou-se o dimensionamento estrutural dos elementos, onde foi calculada a área de armadura de flexão necessária para os esforços solicitantes equivalentes através do método das bielas e tirantes, conforme definido pela NBR 6118:2014 e demais literaturas consultadas. Além disso, efetuou-se o detalhamento das peças para garantir o melhor arranjo das barras de aço.

4 Resultados da pesquisa

4.1 TENSÃO ADMISSÍVEL DO SOLO

Através da análise do laudo de sondagem, foi determinada uma profundidade de assentamento de 1,5 m, obedecendo a NBR 6122:2019 quanto à profundidade máxima, correspondente à uma camada de solo do tipo Areia fina siltosa, medianamente compacta, de cor vermelha.

Para o cálculo da capacidade de carga através dos métodos de Cintra (2004), Mello (1975) e Teixeira (1996). Em virtude das diferenças entre os carregamentos dos projetos, apontados no item seguinte, serão calculadas duas tensões admissíveis, para valores de B como 60 cm e 100 cm. Desse modo, podem ser obtidos dois valores para N_{SPT} , conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo do N_{SPT} médio

B	Profundidade do bulbo	N_{SPT}
60 cm	90 cm	21
100 cm	150 cm	21

Fonte: Autoria própria, 2020.

Em seguida, pode-se calcular o valor da capacidade de carga, de acordo com os três métodos, e encontrar a média aritmética entre os resultados obtidos. Vale salientar que devem ser atendidas as restrições de aplicação apontadas pelos autores.

Tabela 2 - Cálculo do N_{SPT} médio

B	Cintra (2004)	Mello (1975)	Teixeira (1996)	q_{adm}
60 cm	- ¹	- ²	0,31 MPa	3,1 kgf/cm ²
100 cm	- ¹	- ²	0,34 MPa	3,4 kgf/cm ²

Fonte: Autoria própria, 2020.

¹ Método não aplicável, N_{SPT} maior que 20;

² Método não aplicável, N_{SPT} maior que 16.

4.2 DIMENSIONAMENTO DAS SAPATAS

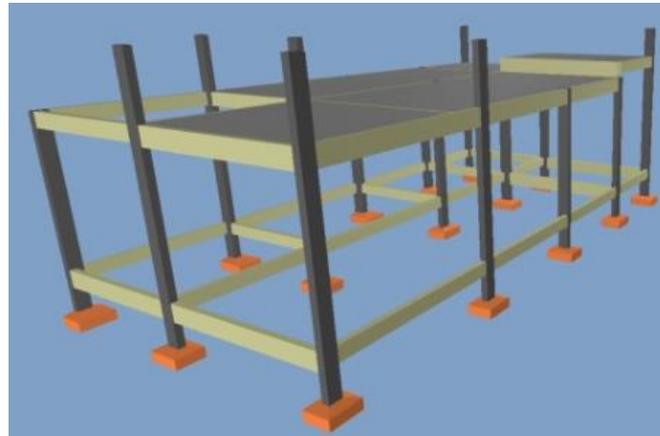
Conforme citado anteriormente, foram obtidos projetos estruturais de concreto armado de diferentes tipos de construções, com usos e áreas construídas variadas, para a simulação do dimensionamento das fundações. Os projetos correspondem às seguintes tipologias: casa térrea, casa de alto padrão, edifício de múltiplos pavimentos e um supermercado.

Para o dimensionamento da área de base, foi aplicada a tensão admissível calculada anteriormente. Foi considerado o uso do aço CA-50 em todos os elementos. O cálculo realizado refere-se ao Estado Limite Último dos elementos de fundação, considerando a tensão admissível de ruptura do solo. Não será estudado o Estado Limite de Serviço das subestruturas. Além disso, serão considerados apenas os esforços verticais para o carregamento da sapata. Ademais, para esse estudo foi considerada apenas a aplicação dos carregamentos verticais nas bases dos pilares, excluindo-se para tanto os esforços horizontais e momentos fletores gerados.

Para a definição da espessura do cobrimento mínimo, foi considerada a classe de agressividade ambiental II, para regiões urbanas e agressividade moderada, sendo este para estruturas em contato com o solo de 3 cm, compatível com a região de estudo.

a) Casa térrea

Figura 8- Lançamento da estrutura (3D) da casa de alto térrea



Fonte: Projeto cedido pelo engenheiro Eranilton de Jesus Sinézio, 2020.

Esta edificação possui as seguintes características:

- Área construída: 80 m²;
- Número de pavimentos: 1;
- Pilar mais solicitado: 10,8 tf;
- Seção do pilar mais solicitado: 14 cm x 30 cm;
- Pilar menos solicitado: 2,45 tf;

- Seção do pilar menos solicitado: 14 cm x 26 cm.

Em virtude do baixo carregamento dos pilares, foi considerada a capacidade de carga de 3,1 kgf/cm², para dimensão menor de 60 cm.

Calculando o ângulo de inclinação da sapata α , percebe-se que, para as sapatas referentes ao pilar de menor e maior carregamento, esse item não atende a condição de ser menor ou igual à 30°, logo possuirão seção transversal retangular. A verificação da diagonal comprimida foi realizada de acordo com a formulação da norma.

Através do dimensionamento realizado conforme demonstrado anteriormente, foram obtidos os resultados exibidos na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Dimensionamento da fundação e detalhe do aço (casa térrea)

Pilar	Carga solicitante	Seção da sapata	Armação Lado A	Armação Lado B	Verificação da Diag.
Menos carregado	2,45 tf	60 cm x 60 cm	5 ϕ 10mm c/13,5	5 ϕ 10mm c/13,5	Ok
Mais carregado	10,8 tf	65cm x 60 cm	5 ϕ 10mm c/13,5	5 ϕ 10mm c/14,5	Ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

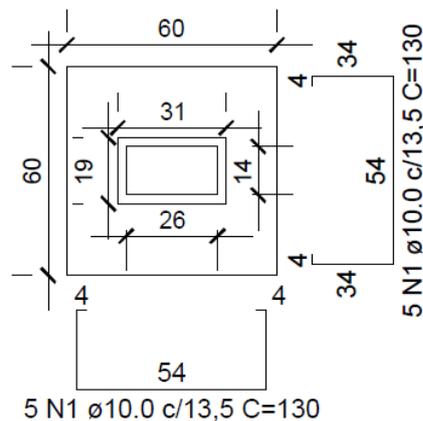
Tabela 4 - Dimensões geométricas da fundação (casa térrea)

Pilar	Altura da sapata	Altura H ₀	Seção
Menos carregado	40 cm	-	60 cm x 60 cm
Mais carregado	40 cm	-	65 cm x 60 cm

Fonte: Autoria própria, 2020.

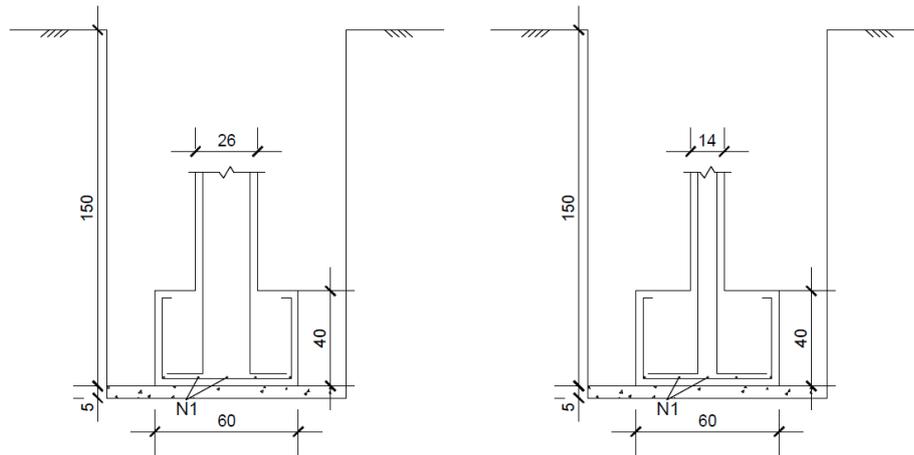
Detalhes construtivos das sapatas calculadas nas figuras 9 à 12.

Figura 9-Detalhamento da sapata do pilar com menor carregamento (casa térrea)



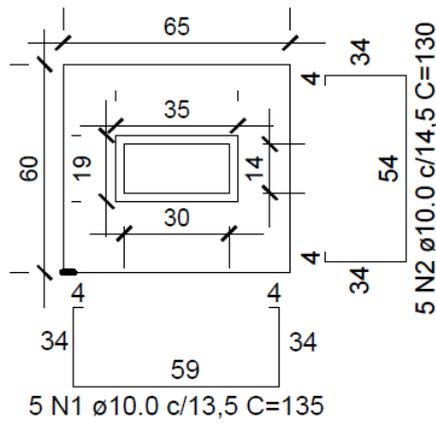
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 10-Detalhamento transversal da sapata do pilar com menor carregamento (casa térrea)



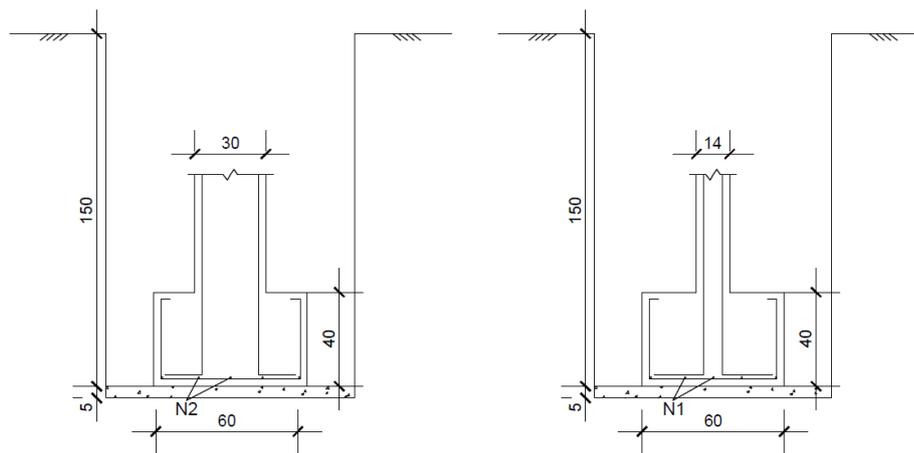
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 11-Detalhamento da sapata do pilar com maior carregamento (casa térrea)



Fonte: Autoria própria, 2020.

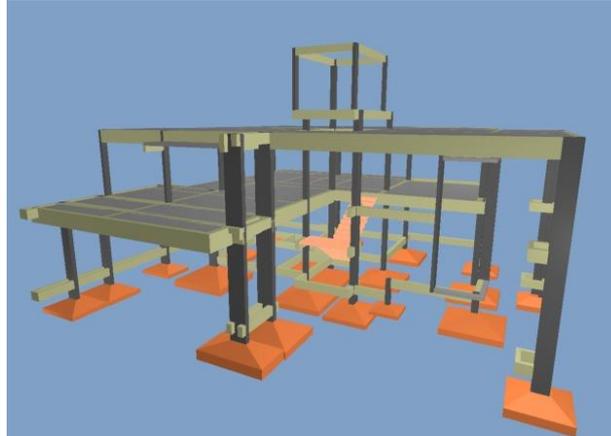
Figura 12-Detalhamento transversal da sapata do pilar com maior carregamento (casa térrea)



Fonte: Autoria própria, 2020.

b) Casa de alto padrão

Figura 13-Lançamento da estrutura (3D) da casa de alto padrão



Fonte: Projeto cedido pelo engenheiro Eranilton de Jesus Sinézio, 2020.

Esta edificação possui as seguintes características:

- Área construída: 558,48 m²;
- Número de pavimentos: 2;
- Pilar mais solicitado: 45,0 tf;
- Seção do pilar mais solicitado: 19 cm x 50 cm;
- Pilar menos solicitado: 8,6 tf;
- Seção do pilar menos solicitado: 20 cm x 22 cm.

Em virtude dos carregamentos, foi utilizada a tensão de ruptura admissível de 3,1 kgf/cm² para a sapata de menor carregamento e 3,4 kgf/cm² para aquela de maior carga, correspondente à menor dimensão de 100 cm.

Calculando o ângulo de inclinação da sapata α , percebe-se que, para a sapata de menor carregamento, esse item não atende a condição de ser menor ou igual à 30°, logo o elemento irá possuir seção transversal retangular. Para aquela de maior carga, será admitido o formato de tronco de cone. Através do dimensionamento, foram obtidos os resultados exibidos na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 - Dimensionamento da fundação e detalhe do aço (casa de alto padrão)

Pilar	Carga solicitante	Seção da sapata	Armação Lado A	Armação Lado B	Verificação da Diag.
Menos carregado	8,6 tf	60 cm x 60 cm	5 ϕ 10mm c/13,5	5 ϕ 10mm c/13,5	Ok
Mais carregado	45,0 tf	135 cm x 110 cm	9 ϕ 10mm c/13,0	12 ϕ 10mm c/11,5	Ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

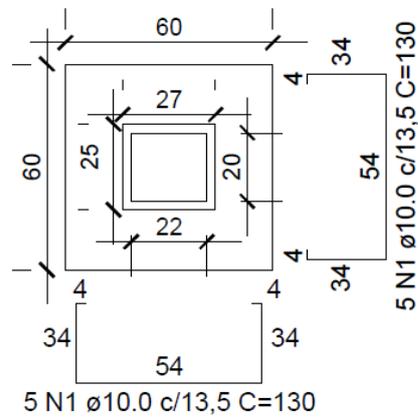
Tabela 6 - Dimensões geométricas da fundação (casa de alto padrão)

Pilar	Altura da sapata	Altura H_0	Seção
Menos carregado	40 cm	-	60 cm x 60 cm
Mais carregado	40 cm	20 cm	135 cm x 110 cm

Fonte: Autoria própria, 2020.

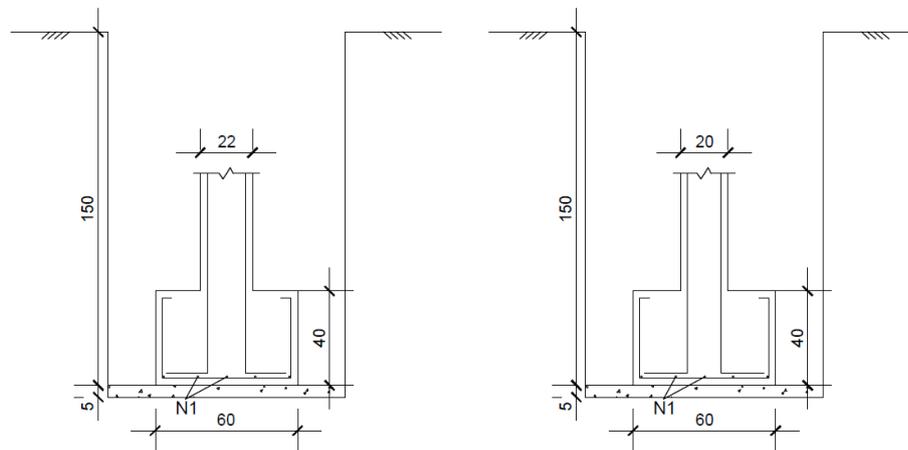
Detalhes construtivos das sapatas calculadas nas figuras 14 à 17.

Figura 14-Detalhamento da sapata do pilar com menor carregamento (casa de alto padrão)



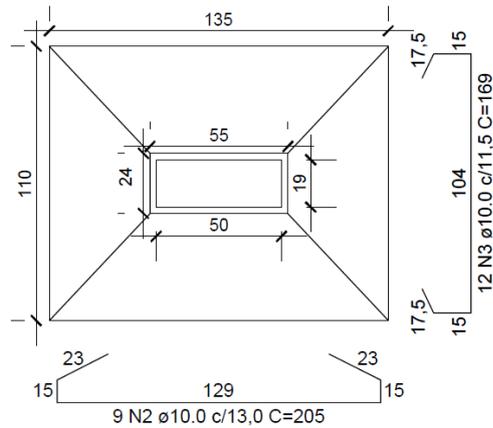
Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 15-Detalhamento transversal da sapata do pilar com menor carregamento (casa de alto padrão)



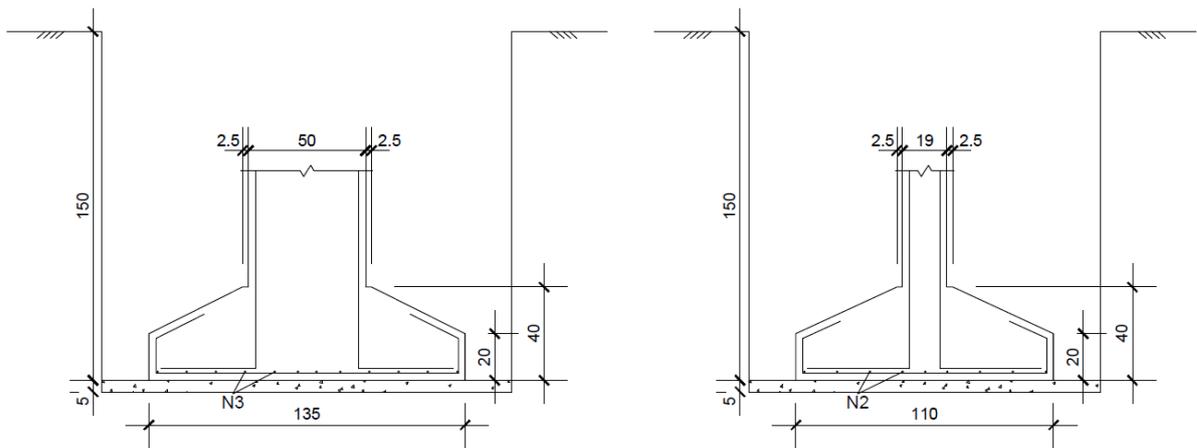
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 16-Detalhamento da sapata do pilar com maior carregamento (casa de alto padrão)



Fonte: Autoria própria, 2020.

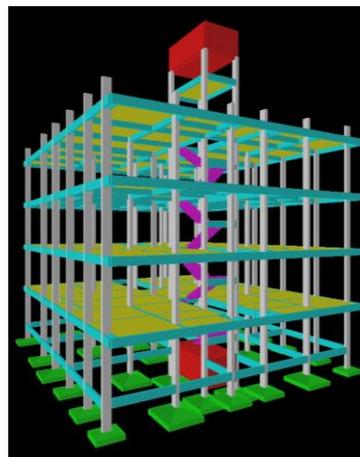
Figura 17-Detalhamento transversal da sapata do pilar com maior carregamento (casa de alto padrão)



Fonte: Autoria própria, 2020.

c) Edifício residencial de múltiplos pavimentos

Figura 18-Lançamento da estrutura (3D) do edifício de múltiplos pavimentos



Fonte: Projeto cedido pela CAS Engenharia Ltda, 2020.

Esta edificação possui as seguintes características:

- Área construída: 4700 m²;

- Número de pavimentos: 4;
- Pilar mais solicitado: 67,3 tf;
- Seção do pilar mais solicitado: 20 cm x 38 cm;
- Pilar menos solicitado: 20,2 tf;
- Seção do pilar menos solicitado: 14 cm x 40 cm.

Em virtude dos carregamentos, será utilizada a tensão de ruptura admissível de 3,1 kgf/cm² para a sapata de menor carregamento e 3,4 kgf/cm² para aquela de maior carga.

Calculando o ângulo de inclinação da sapata α , percebe-se que, para a sapata de menor carregamento, esse item não atende a condição de ser menor ou igual à 30°, logo este elemento terá seção transversal retangular. Para aquela de maior carga, será admitido o formato de tronco de cone. Através do dimensionamento, foram obtidos os resultados exibidos na Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Dimensionamento da fundação e detalhe do aço (edifício de múltiplos pavimentos)

Pilar	Carga solicitante	Seção da sapata	Armação Lado A	Armação Lado B	Verificação da Diag.
Menos carregado	20,2 tf	100 cm x 75 cm	6 ϕ 10mm c/13,5	8 ϕ 10mm c/13,0	Ok
Mais carregado	67,3 tf	160 cm x 140 cm	13 ϕ 10mm c/11,0	13 ϕ 10mm c/12,5	Ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

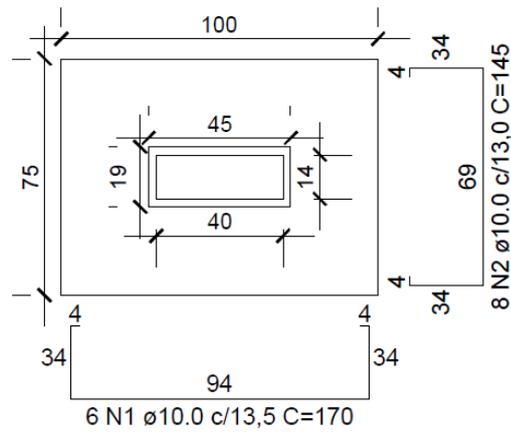
Tabela 8 - Dimensões geométricas da fundação (edifício de múltiplos pavimentos)

Pilar	Altura da sapata	Altura H ₀	Seção
Menos carregado	40 cm	-	100 cm x 75 cm
Mais carregado	40 cm	20 cm	160 cm x 140 cm

Fonte: Autoria própria, 2020.

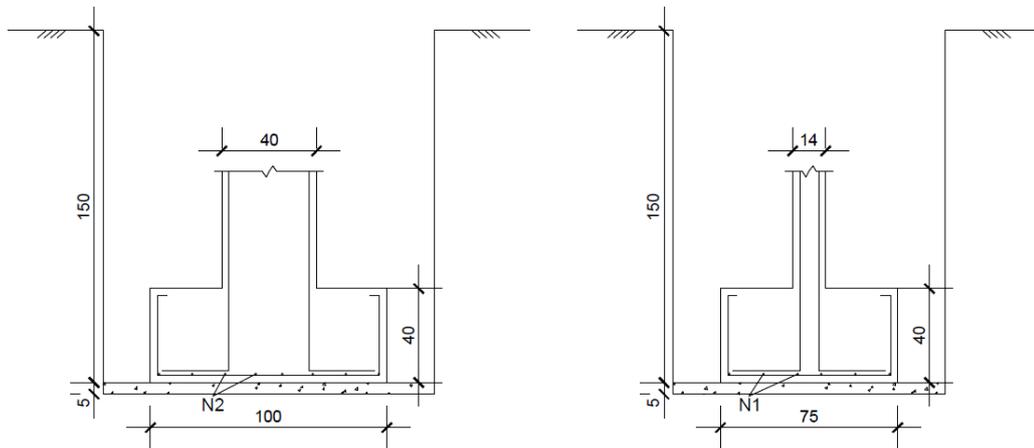
Detalhes construtivos das sapatas calculadas nas figuras 19 à 22.

Figura 19-Detalhamento da sapata do pilar com menor carregamento (edifício de múltiplos pavimentos)



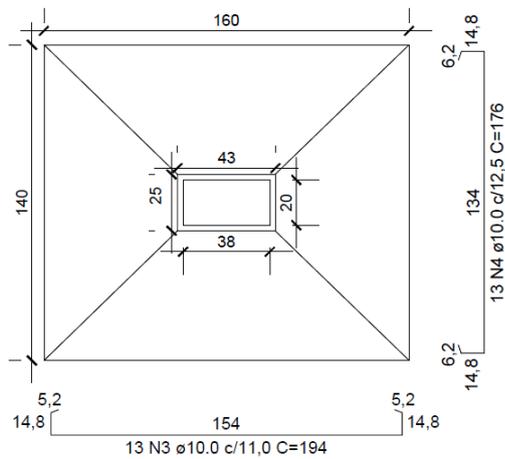
Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 20-Detalhamento transversal da sapata do pilar com menor carregamento (edifício de múltiplos pavimentos)



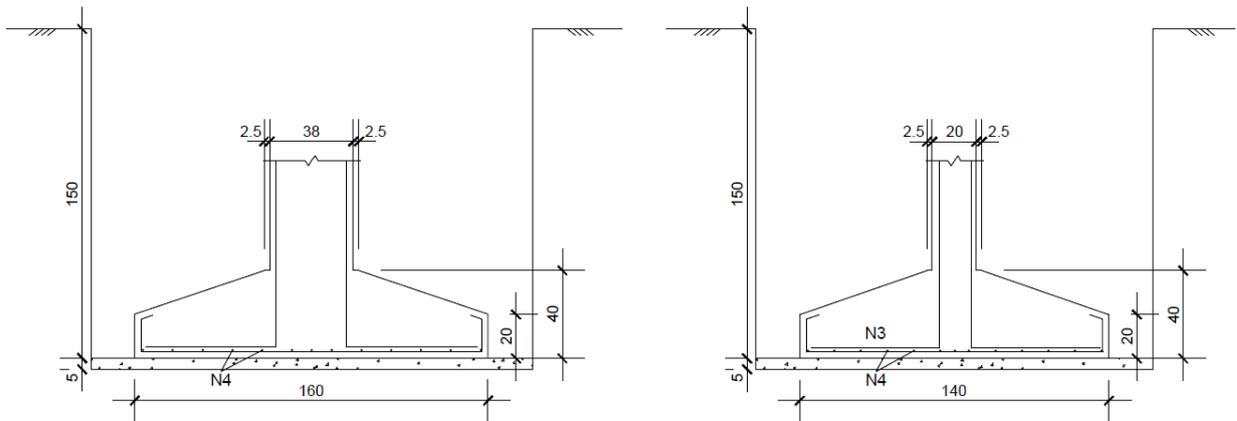
Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 21-Detalhamento da sapata do pilar com maior carregamento (edifício de múltiplos pavimentos)



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 22-Detalhamento transversal da sapata do pilar com maior carregamento (edifício de múltiplos pavimentos)



Fonte: Autoria própria, 2020.

d) Supermercado

Para este projeto, não foi possível obter o lançamento 3D da estrutura, apenas a planta de carga e locações. A edificação possui as seguintes características:

- Área construída: 4295 m²;
- Número de pavimentos: 1;
- Pilar mais solicitado: 60,8 tf;
- Seção do pilar mais solicitado: 25 cm x 25 cm;
- Pilar menos solicitado: 6,5 tf;
- Seção do pilar menos solicitado: 25 cm x 25 cm.

Em virtude dos carregamentos, será utilizada a tensão de ruptura admissível de 3,1 kgf/cm² para a sapata de menor carregamento e 3,4 kgf/cm² para aquela de maior carga.

Calculando o ângulo de inclinação da sapata α , percebe-se que, para a sapata de menor carregamento, esse item não atende a condição de ser menor ou igual à 30°, logo este elemento terá seção transversal retangular. Para aquela de maior carga, será admitido o formato de tronco de cone. Através do dimensionamento, foram obtidos os resultados exibidos na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 - Dimensionamento da fundação e detalhe do aço (supermercado)

Pilar	Carga solicitante	Seção da sapata	Armação Lado A	Armação Lado B	Verificação da Diag.
Menos carregado	6,5 tf	60 cm x 60 cm	5 ϕ 10mm c/13,5	5 ϕ 10mm c/13,5	Ok
Mais carregado	60,8 tf	145 cm x 145 cm	12 ϕ 10mm c/12,5	12 ϕ 10mm c/12,5	Ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

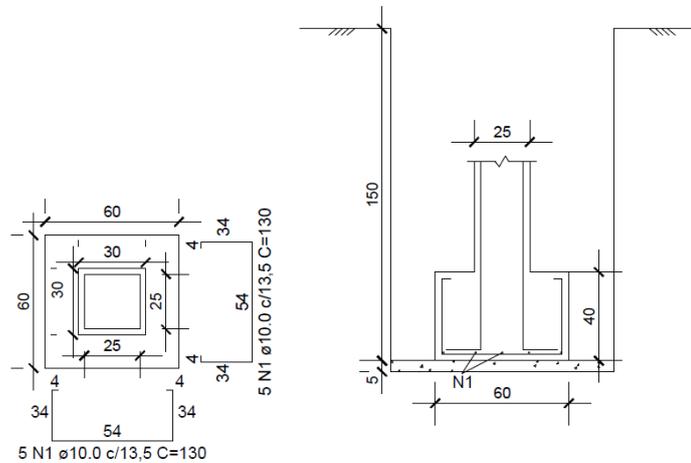
Tabela 10 - Dimensões geométricas da fundação (supermercado)

Pilar	Altura da sapata	Altura H_0	Seção
Menos carregado	40 cm	-	60 cm x 60 cm
Mais carregado	40 cm	20 cm	145 cm x 145 cm

Fonte: Autoria própria, 2020.

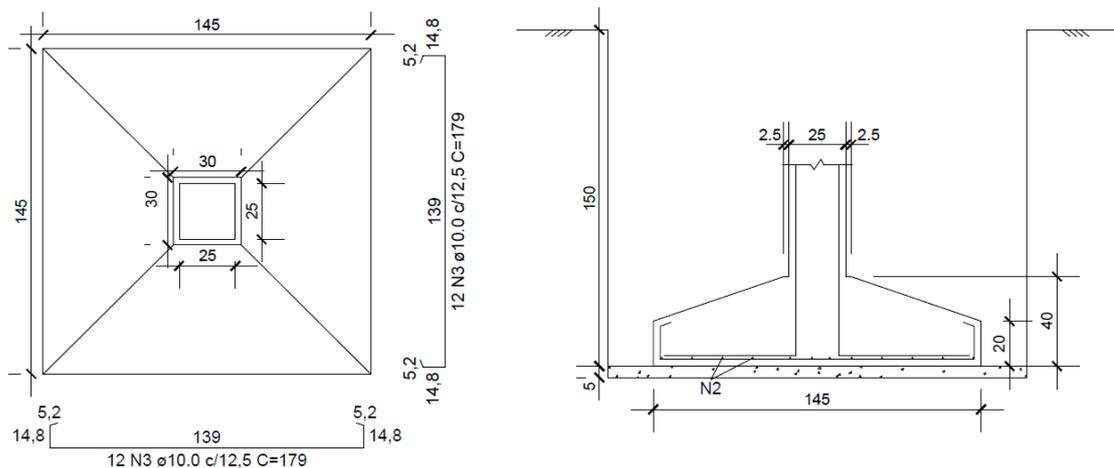
Detalhes construtivos das sapatas calculadas nas figuras 23 e 24.

Figura 23-Detalhamento da sapata do pilar com menor carregamento (supermercado)



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 24-Detalhamento da sapata do pilar com maior carregamento (supermercado)



Fonte: Autoria própria, 2020.

Tendo em vista a variabilidade das cargas entre os pontos analisados, dentro do mesmo projeto, foi escolhida a bitola de 10 mm para as barras de aço, por questões construtivas e econômicas, tais como: organização do canteiro (pela aquisição de poucas variações de diâmetro), diminuição do risco de erros construtivos e menor desperdício no corte e montagem das armações.

5 Considerações finais

O presente trabalho apresentou uma simulação do dimensionamento de sapatas isoladas retangulares para vários tipos de construção: casa térrea, casa de alto padrão, edifício de quatro pavimentos e um supermercado. Para tal, foram utilizadas as normativas brasileiras referentes ao dimensionamento desse tipo de elemento, além das demais bibliografias apontadas.

Observando os resultados obtidos no dimensionamento dos elementos de fundação, percebe-se que a tensão admissível obtida na profundidade de assentamento estabelecida é compatível com os carregamentos solicitantes em todos os projetos. Tal fato justifica-se pelo atendimento da dimensão mínima nos projetos da casa térrea, casa de alto padrão e supermercado, sendo todos para o pilar de menor carregamento. Para o edifício de múltiplos pavimentos, foi obtida a maior área de base entre os projetos, em virtude do maior carregamento recebido, devido à maior altura. Neste caso, a fundação apresenta uma seção de 22.400 cm².

Para carregamentos superiores à 67,3 tf, maior esforço solicitante nos projetos analisados, que corresponde ao edifício de múltiplos pavimentos, deve ser analisada a viabilidade econômica de fundações superficiais do tipo sapata isolada, em virtude da área de base elevada, podendo ser utilizado o tipo *radier* ou fundações profundas, a depender das condições de esforços nos demais pilares.

Vale salientar o uso do critério da área de aço mínima na maioria das situações estudadas, excetuando-se apenas a condição de maior carregamento no edifício de múltiplos pavimentos e no supermercado.

É importante mencionar que o laudo de sondagem estudado é referente apenas à uma localização da cidade, não sendo possível admitir que este e os resultados obtidos no dimensionamento do presente trabalho seja transposto para diferentes locais, devendo ser realizada a investigação geotécnica para qualquer tipo de obra, conforme exigido na normativa brasileira.

Como foram analisados apenas quatro modelos de projetos estruturais, é indicada a continuação desse estudo, considerando a aplicação de outros modelos de construção, além da análise de laudos de sondagens realizados em outros locais na cidade onde foi realizado o presente estudo, Sousa-PB, visando estabelecer critérios mínimos de fundações para edificações a serem implantadas na cidade, conforme a NBR 6122:2019 e NBR 6118:2014.

Referências

- ALVA, G. M. S. **Projeto estrutural de sapatas**: Notas de aula. 2007, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- ARAGÃO, J. W. M. de; MENDES NETA, M. A. H. **Metodologia Científica**. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação a distância, 2017.
- ARCENO, M. F. **Dimensionamento estrutural de sapatas e blocos de coroamento**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
- BAHIA, G. de A. D. **Avaliação do desempenho de fundações em edificação no DF com a utilização de técnicas de Interação Solo-Estrutura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- BARROS, M. R. S. de; TORRES, R. T. da C. Fundações. *In*: CONGRESSO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UEG, 4., 2017. **Anais eletrônicos...** UEG, 2017. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/view/10644>. Acesso em: 30 set. 2020.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de aula de Estruturas de Concreto III**. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2019. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Sapatas.pdf>. Acesso em: 3 out. 2020.
- BERBERIAN, D. **Engenharia de fundações**: Passo-a-Passo. 1. ed. Brasília: Infrasolo, 1943.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**: mecânica das rochas, fundações e obras de terra. v. 2. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. v. 2. São Paulo: Pini, 2009.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas**: projeto geotécnico. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- COLARES, G. M. **Programa para análise da interação solo-estrutura no projeto de edifícios**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- CUNHA, L. do N. Análise comparativa de fundação tipo sapata e tubulão em um mesmo perfil geotécnico na cidade de Teresina. *In*: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 28., 2016, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: ABMS, 2016.

DANZIGER, B. R.; CARVALHO, E. M. L.; COSTA, R. V.; DANZIGER, F. A. B. Estudo de caso de Obra com Análise da Interação Solo Estrutura. **Revista de Engenharia Civil**, v.23 p. 43-54, 2005.

DUARTE JÚNIOR, H. M. **Dimensionamento de sapatas de fundação através do software Mathcad**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2016.

FERREIRA, T. B. **Cálculo da capacidade de carga e o dimensionamento de sapatas isoladas utilizando planilhas eletrônicas**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.

GOMES, J. K. P.; ARAÚJO, C. B. C. de; AYRES, T. M. da C. Análise da capacidade de carga de fundações superficiais por diferentes metodologias. **RCT – Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 6, 2020. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/5477/2984>. Acesso em: 21 dez. 2020.

IBGE. IBGE - cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sousa/panorama>. Acesso em: 25 set. 2020.

LIRA, C. C.; RIBEIRO, G. L. de C. **Análise comparativa de dimensionamento de fundação de uma edificação comercial em Jaraguá-GO: estaca escavada x sapata**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Jaraguá, Jaraguá, 2019.

LOURENÇÃO, J. S.; ANDRIÃO, E. G. S.; ALVES, E. C. Dimensionamento otimizado de sapatas rígidas isoladas. *In: Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering*, 38., 2017, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: ABMEC, 2017.

MAIA, L. D. da S. **Utilização de ensaio SPT para caracterização do sub-solo do bairro da Ribeira as margens do rio Potengi**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MARANGON, M. **Unidade 04: Fundações diretas**. Notas de aula. 2018, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

MARINHO, F. Recalque de fundações: o que é?. **Guia da engenharia**, 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/recalque-fundacoes-conceitos/>. Acesso em: 28 nov. 2020.

NÁPOLES NETO, A. D. F.; VARGAS, M. História das fundações. *In: HACHICH, W. et al., (ed.). Fundações: Teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. cap. 1, p. 17-33.

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

OLIVEIRA, B. L. de; AMANCIO, L. B. Otimização do cálculo da capacidade de carga e tensão admissível do solo para sapatas isoladas. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia**

Civil, v. 12, n. 2, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/reec.v12i2.38794>. Acesso em: 5 out. 2020.

PFENG, A.; PARIZOTTO, G. N.; DOBKOVSKI, L. R. Importância da sondagem de solos na construção civil. *In: Encontro Anual de Produção Científica*, 11., 2014, União da Vitória. **Anais ...** União da Vitória: Uniuv, 2014.

PRUDÊNCIO, T. **Análise de viabilidade econômica de diferentes tipos de fundação em casas populares**. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

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

SOARES, W. C. **Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estacas de compactação**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

VIEIRA, W. S. R. **Dimensionamento geotécnico e estrutural de sapatas rígidas**. 2014 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Boletim de sondagem utilizado

ANEXO A – Boletim de sondagem utilizado

