



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

**CLAUDIANE FERNANDES PAULO DE OLIVEIRA
MILLENA VANESSA TRINDADE DA COSTA**

**ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS UTILIZANDO O
CÁLCULO MANUAL E UM SOFTWARE COMERCIAL**

**BARBACENA
2021**

**CLAUDIANE FERNANDES PAULO DE OLIVEIRA
MILLENA VANESSA TRINDADE DA COSTA**

**ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS UTILIZANDO O
CÁLCULO MANUAL E UM SOFTWARE COMERCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Fundação Presidente Antônio Carlos –
FUPAC como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: MSc. Tairine Cristine Bertola
Cruz

**BARBACENA/MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Somos gratas primeiramente a Deus por ter nos mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa e dado forças para chegarmos até o final e jamais termos pensado em desistir.

A todo corpo docente da Universidade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC Barbacena-MG, que sempre transmitiram seu saber com muito profissionalismo. Mas especialmente queremos agradecer a nossa orientadora Prof. MSc. Tairine Cristine Bertola Cruz que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica esteve sempre presente incentivando e indicando com a maior paciência e melhor direção nesta monografia, seus conhecimentos fizeram uma grande diferença no resultado final deste trabalho.

Ao engenheiro civil Lucas Stefani Salgarello que disponibilizou um belíssimo projeto para ser usado em nossa proposta e por toda a ajuda empregada ao longo de todo o percurso. Obrigada por aceitar a conduzir a nossa pesquisa juntamente com nossa orientadora acadêmica.

Aos nossos pais e familiares temos a imensa gratidão por toda presença e amor incondicional de vocês, nos tornando quem somos hoje. Esta monografia é a prova de que os esforços deles pela nossa educação não foram em vão e valeram muito à pena, amamos vocês.

Ao nosso amigo Rivelino Neri Silva, que sempre nos ajudou desde o início deste projeto de pesquisa e também durante toda nossa trajetória acadêmica.

RESUMO

O Projeto de Fundações é a base para todas as edificações, os cálculos nele presentes são destinados a transmissão das cargas da estrutura ao solo, proporcionando segurança a ela. Inicialmente eles eram dimensionados com o auxílio de ábacos, depois por calculadoras e atualmente por softwares computacionais. Essa mudança se deu pelo simples fato de dimensionar cálculos complexos a curtos prazos de entrega, onde nos cálculos manuais isso não seria possível por demandar um tempo maior. Assim os cálculos manuais passaram a ser substituídos por programas computacionais, mas não deixando de existirem, pois eles são a base para os softwares. Com isso, este trabalho expõe uma análise crítica da comparação do dimensionamento realizado através do método manual e do computacional de uma fundação rasa em sapatas isoladas de uma edificação unifamiliar. Por fim, obteve-se maior economia em materiais no método manual.

Palavras-chave: Fundações. Sapatas. Método manual. Método computacional.

ABSTRACT

The Foundation Design is the basis for all buildings, the calculations therein are intended to transmit the loads of the structure to the ground, providing it with safety. Initially they were dimensioned with the help of abacuses, then by calculators and currently by computer software. This change was due to the simple fact of sizing complex calculations at short lead times, where manual calculations would not be possible because they demanded more time. Thus, manual calculations have been replaced by computer programs, but they do not cease to exist, because they are the basis for the software. Thus, this paper exposes a critical analysis of the comparison of the design performed through the manual method and the computational method of a shallow foundation on isolated footings of a single-family building. Finally, a greater economy in materials was obtained with the manual method.

Keywords: Foundations. Footings. Manual method. Computational method

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ELEMENTOS LINEARES: VIGAS E PILARES	11
FIGURA 2 – ELEMENTO BIDIMENSIONAL: LAJE	11
FIGURA 3 – ELEMENTO TRIDIMENSIONAL: SAPATA DE FUNDAÇÃO	11
FIGURA 4 – TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS NO PÓRTICO ESTRUTURAL ...	12
FIGURA 5 - FUNDAÇÕES PROFUNDAS	13
FIGURA 6 – FUNDAÇÕES RASAS.....	14
FIGURA 7 – BALDRAME	15
FIGURA 8 - POÇO DE SONDAGEM	17
FIGURA 9 - TRADO.....	17
FIGURA 10 - SONDAGEM PERCUSSÃO (SPT).....	18
FIGURA 11 - SEQUÊNCIA DE CRAVAÇÃO NO SPT	19
FIGURA 12 - SAPATA ISOLADA.....	20
FIGURA 13 - SAPATA CORRIDA	21
FIGURA 14 - SAPATA ASSOCIADA	21
FIGURA 15 - SAPATA ALAVANCADA	22
FIGURA 16 - CORTE DO ELEMENTO SAPATA	23
FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES NO SOLO	24
FIGURA 18 - BALANÇOS E DIMENSÕES GEOMÉTRICAS DA SAPATA.....	25
FIGURA 19 - VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO	26
FIGURA 20 - EFEITO GLOBAL DAS AÇÕES ATUANTES EM SAPATAS ISOLADAS	29
FIGURA 21 – FLEXÃO COMPOSTA.....	30
FIGURA 22 – DIAGRAMA DE TENSÕES	30
FIGURA 23 - DIAGRAMA DE TENSÕES RESULTANTES	31
FIGURA 24 - NÚCLEO CENTRAL DE INÉRCIA PARA FORMAS RETANGULARES	31
FIGURA 25 - TENSÕES ATUANTES NA SAPATA RÍGIDA	33
FIGURA 26 - REGISTRO DE SATÉLITE DA LOCALIDADE DO TERRENO.....	35
FIGURA 27- TERRENO	36
FIGURA 28 – CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	37
FIGURA 29 – CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS	

PELO O PROGRAMA EBERICK.....39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- COEFICIENTE DE ADERÊNCIA η_1	27
TABELA 2 - COEFICIENTE DE CONDIÇÃO DE ADERÊNCIA η_2	27
TABELA 3 - COEFICIENTE DE ADERÊNCIA DE ACORDO COM A BITOLA η_3 ...	27
TABELA 4 - COEFICIENTE A	28
TABELA 5 - COMPRIMENTO DE ANCORAGEM PARA AÇO CA-50	28
TABELA 6- DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO	40
TABELA 7- ESTIMATIVA GEOMÉTRICA.....	41
TABELA 8 - COMPARATIVO DA ÁREA DA ARMADURA DA SAPATA ENTRE OS MÉTODOS, MANUAL E O SOFTWARE EBERICK.	42
TABELA 9 - NÚMEROS DE BARRAS DE AÇO E ESPAÇAMENTOS, DIREÇÃO A	43
TABELA 10 - NÚMEROS DE BARRAS DE AÇO E ESPAÇAMENTOS, DIREÇÃO B	44
TABELA 11 - NÚMEROS DE BARRAS DE AÇO E ESPAÇAMENTOS.....	44
TABELA 12 - QUANTITATIVO DE AÇO POR SAPATA	45
TABELA 13 - RESUMO DE BARRA DE AÇO (CÁLCULO MANUAL).....	45
TABELA 14 - QUANTITATIVO DE AÇO POR SAPATA	46
TABELA 15 - RESUMO DE BARRA DE AÇO (EBERICK)	46
TABELA 16 - VALOR GASTO EM BARRAS DE AÇO.....	46
TABELA 17 - DADOS PARA O CÁLCULO DO VOLUME E PESO PRÓPRIO DO CONCRETO.....	48
TABELA 18 - VARIAÇÕES DO VOLUME E PESO PRÓPRIO ENTRE OS MÉTODOS	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 DESENVOLVIMENTO.....	10
2.1 Sistemas estruturais em concreto armado	10
2.2 A infraestrutura da edificação	13
2.3 Investigação geotécnica	15
2.4 O elemento estrutural sapata de fundação	19
2.5 Método manual para o dimensionamento de sapatas	22
2.5 Estudo de caso.....	35
2.5.1 Apresentação.....	35
2.5.2 Considerações sobre o Eberick.....	37
2.5.3 Resultados e Discussões	39
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

1 INTRODUÇÃO

As fundações são os elementos responsáveis por suportar toda a edificação e transmitir os esforços para o solo. Além disso, as fundações são demasiadamente utilizadas em estruturas e dimensionadas por cálculos estruturais a partir de projetos para, assim, executá-las.

Por anos esses cálculos eram realizados manualmente, apenas com o auxílio de calculadoras. Assim, os engenheiros responsáveis pelos mesmos apresentaram necessidade de avanços visando melhorar o tempo de entrega dos projetos, os quais levavam dias, e também obter um melhor detalhamento.

Com isso, foram criados *softwares* para maior praticidade e agilidade ao dimensionar uma estrutura, no mercado existem vários *softwares* para a realização dos dimensionamentos estruturais no método computacional, por exemplo, o *Eberick*, *TQS* e *Cypecad*. Não descartando, no entanto, o método manual para a verificação dos mesmos.

A comparação entre os dois métodos (manual e computacional) permite a verificação de possíveis diferenças no dimensionamento, como nas áreas de aços que serão aplicadas no concreto. Ademais, essa diferenciação se faz de suma importância para uma estrutura bem dimensionada, com segurança e vida útil longa.

Concomitantemente, é importante lembrar que se deve seguir as normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para quaisquer dimensionamentos estruturais em ambos os métodos, seja através do cálculo computacional ou manual.

Com isso o tema proposto para o trabalho de conclusão de curso, foi a análise comparativa do cálculo estrutural da fundação de uma edificação residencial unifamiliar utilizando-se um *software* de dimensionamento e cálculos manuais. Pois como toda indústria, a construção civil passou por várias transformações ao longo dos anos. Dentre elas houve a criação de *softwares*, fazendo com que os profissionais da área busquem diariamente por novos conhecimentos e aprimoramentos.

Desta forma, os programas computacionais para cálculo estrutural vêm sendo amplamente utilizados. Isso devido ao fato de proporcionarem projetos mais elaborados e planejados, resultando em economia de tempo e maior praticidade no dimensionamento de projetos, uma vez que demandariam mais tempo através da

forma manual. Esses programas são, ainda, capazes de solucionar problemas mais complexos e apresentam maior precisão, diminuindo a incidência de erros. Todavia, os cálculos manuais não foram totalmente inutilizados, mesmo por serem a base para todos os *softwares*.

Diante das informações acima, ressalta-se que o presente trabalho tem como objetivo comparar e descrever as diferenças encontradas em cada método, analisar e concluir a pesquisa com os dados encontrados.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Sistemas estruturais em concreto armado

Segundo Moreira (2018), o concreto é resultante da mistura de agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita ou cascalho), cimento e água. A combinação desses materiais confere-o plasticidade e trabalhabilidade, ou seja, facilidade de moldagem. Em seu estado sólido, o material adquire elevada resistência a compressão, entretanto sua resistência a tração é reduzida, sendo essa cerca de 10% daquela (CARVALHO, 2016).

Assim, surge a necessidade de introduzir o aço, constituindo o concreto armado. Nessa combinação, Carvalho (2016) expõe a contribuição do aço com a alta resistência à tração e, através do cobrimento da armadura, o concreto protege-o da corrosão causada pelo ambiente. Além disso, o concreto e o aço são conhecidos por apresentarem um “casamento perfeito”, devido ao fato de apresentarem boa aderência entre eles e similares coeficientes de dilatação (da ordem de $10^{-5}^{\circ}\text{C}^{-1}$), recomendado pela norma NBR 6118/2014.

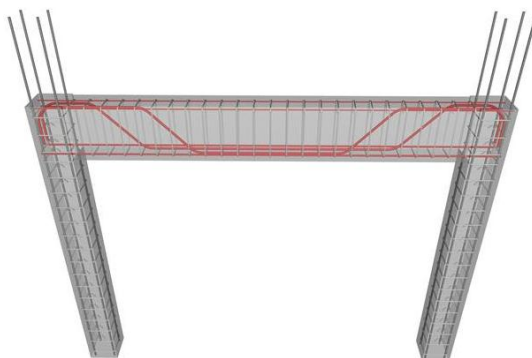
As principais vantagens da utilização do concreto nas edificações são:

- Material econômico;
- Componentes abundantes na natureza;
- Fácil moldagem;
- Elevadas resistências ao fogo e ao desgaste mecânico;
- Não é necessária mão de obra especializada;
- Equipamentos simples.

Dessa forma, esse material está presente em 90% das construções no Brasil, constituindo os sistemas estruturais, que podem ser compostos apenas por elementos de concreto armado ou mistos, sendo eles as lajes, vigas, pilares e fundações (UNICAMP, 2018).

Os elementos estruturais podem ser classificados em lineares, bidimensionais ou tridimensionais. Os lineares apresentam uma dimensão mais significativa que as demais e também são denominados de “barras”. A FIG. 1 ilustra dois exemplos: os pilares, barras verticais com maior altura, e as vigas, barras horizontais com maior comprimento (SOUZA; RODRIGUES, 2008).

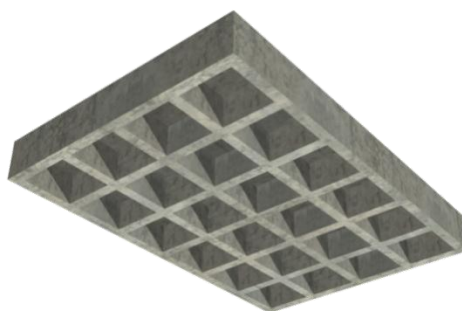
Figura 1 – Elementos lineares: vigas e pilares



Fonte: Buildinghow (2021)

Os elementos bidimensionais, por sua vez, têm uma das suas três dimensões muito inferior às demais. Um exemplo é a laje, em que sua espessura é muito menor que seu comprimento e sua largura (FIG. 2).

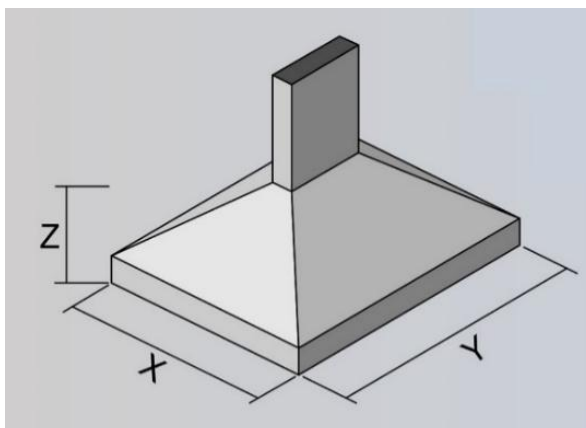
Figura 2 – Elemento bidimensional: laje



Fonte: GbCad (2019)

Por fim, os elementos tridimensionais contêm todas as dimensões com ordem de grandeza aproximadas, como observado na FIG. 3 para as fundações.

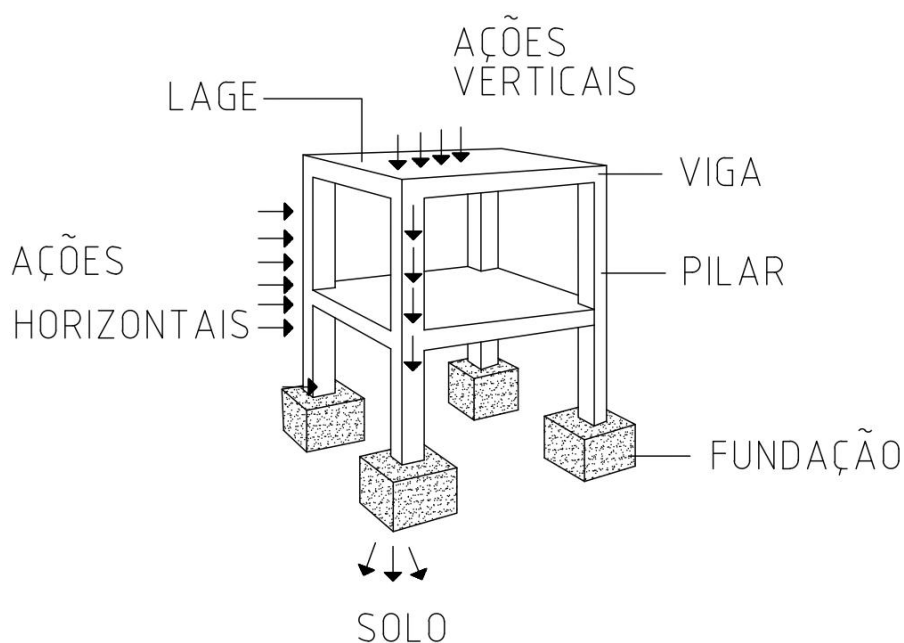
Figura 3 – Elemento tridimensional: sapata de fundação



Fonte: Pedro e Carlos (2020)

As lajes são destinadas a receber as ações aplicadas nos pisos dos pavimentos e na cobertura. Pode-se citar as cargas de utilização, as quais são uniformemente distribuídas, e dos equipamentos fixos (concentrados). As ações provenientes das lajes, bem como o peso próprio desta, normalmente, são destinadas às vigas de borda, sendo distribuídas perpendicularmente a seu eixo principal. As vigas recebem as cargas provenientes das paredes, transmitindo-as aos pilares. Estes, por sua vez, descarregam os esforços para as estruturas de fundação. A junção destes elementos forma o pórtico estrutural, conforme mostra a FIG. 4 (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

Figura 4 – Transferência de esforços no pórtico estrutural



Fonte: Autoria própria (2021)

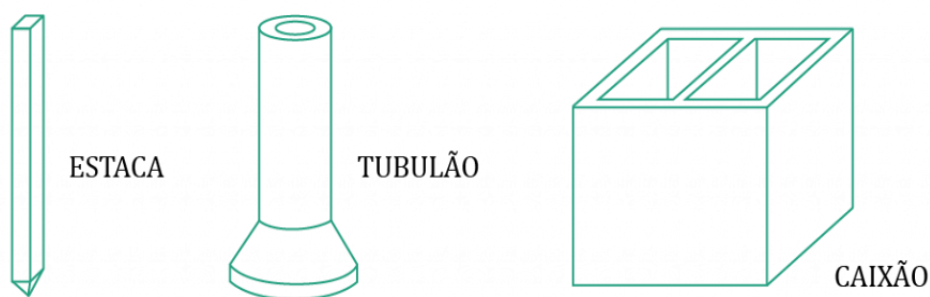
Em suma, a estrutura do edifício deve suportar com segurança todas as cargas atuantes durante a sua vida útil. Assim, o dimensionamento estrutural compreende na determinação das dimensões dos elementos, conforme as cargas previstas para a edificação, de forma otimizada e econômica.

Define-se que os elementos estruturais aparentes são designados como a “superestrutura” da edificação, já os elementos não aparentes são atribuídos como “infraestrutura”, especificamente as fundações ou alicerces, que transmitem as cargas da edificação para o solo.

2.2 A infraestrutura da edificação

Inicialmente, as fundações são divididas em dois grupos usuais: fundações rasas e profundas. As fundações profundas (FIG. 5) são elementos que transmitem as cargas ao terreno pela base (resistência de ponta), pela lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas. Devem ser apoiadas em profundidade mínima de três metros e máxima de oito vezes a menor dimensão em planta. As estacas, os tubulões e os caixões fazem parte desse grupo (NBR 6122, ABNT 2019).

Figura 5 - Fundações profundas



Fonte: Medina Engenharia (2019)

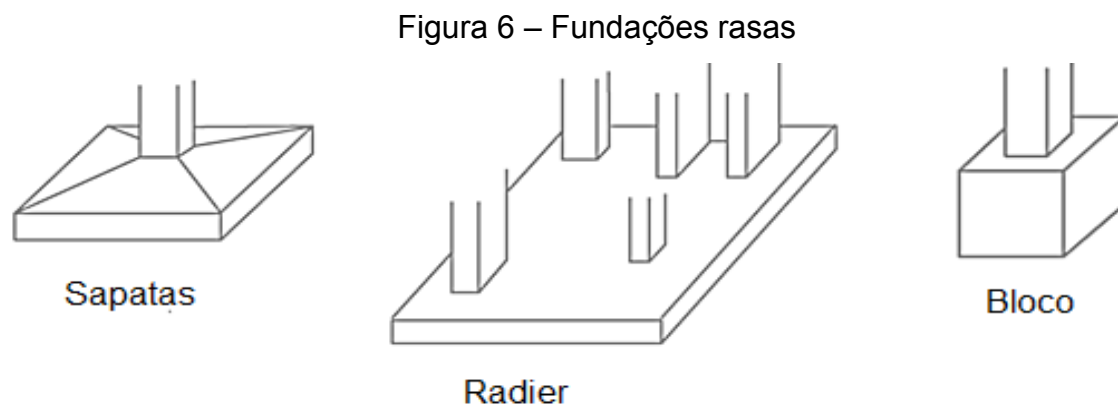
As estacas são utilizadas em edificações de grande ou pequeno porte. Transferem as cargas atuantes do elemento estrutural ao solo principalmente por atrito. Possuem várias geometrias, dimensões, aspectos e até mesmo diferentes métodos de cálculos para o dimensionamento. Sua execução é efetuada por equipamentos mecânicos ou ferramentas manuais, podendo ser cravadas ou perfuradas (GONÇALVES, 2019).

Os tubulões são elementos circulares ou elípticos, com ou sem revestimento, sendo de aço ou concreto. Sua base não possui armaduras, podendo ou não ser alargada. São empregados em obras com cargas elevadas e de difícil acesso. A escavação deve ser acima do lençol freático e, se não for possível, utiliza-se a técnica de rebaixamento deste (OLIVEIRA *et al*, 2014).

Por último, os caixões são elementos com formato de prisma, com o lançamento de concreto na superfície do terreno escavado, instalação das paredes laterais pré-moldadas, preenchimento do vão com solo e fechamento de concreto. As

escavações internas podem ser realizadas por ar comprimido e sua base pode ou não ser alargada. São usados principalmente em obras marinhas (PEREIRA, 2019).

Segundo a ABNT NBR 6122 (2019), as fundações superficiais (diretas ou rasas) são elementos assentados em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Compreendem a sapata, o radier e o bloco (FIG. 6).



As sapatas são elementos de fundação superficial que contam com armadura para resistir aos esforços de tração, ou seja, são de concreto armado. Elas conseguem resistir a maiores esforços, podendo ter formatos quadradas, retangulares ou trapezoidais, acompanhando então o mesmo formato dos pilares para evitar o surgimento de possíveis excentricidades e, conseqüentemente, momentos. As dimensões mínimas, definidas pela norma, são de 60 cm. Para a diminuição do consumo de concreto, o formato mais indicado é o cônico piramidal (BASTOS, 2019).

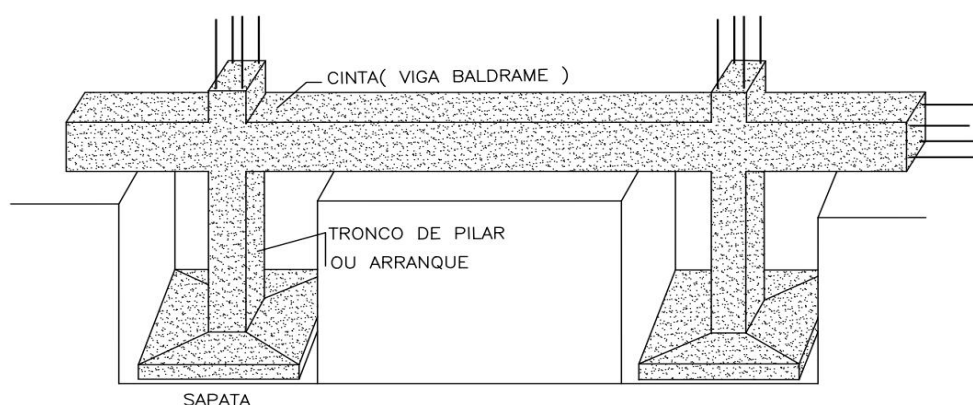
O radier é descrito pela supracitada norma como “elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra com os carregamentos distribuídos”. São confeccionados em terrenos com baixa resistência (aqueles que não contém solo firme em até 60 cm de profundidade). São indicados para amenizar ao máximo os recalques diferenciais ou para edificações onde a área total de sapatas, caso fossem utilizadas, abrange cerca de 70% de toda a área da construção (DARÓS, 2020). Pode-se dizer também que essa fundação é uma placa contínua que abrange todos os pilares da estrutura, e os materiais empregados são o concreto armado, telas ou malas de aço (FABRILAR, 2021).

Outro tipo de fundação rasa são os blocos, elementos superficiais de concreto simples (sem armadura), com placas de seção retangulares ou quadradas. São empregados em obras de pequeno porte, com terrenos de bom suporte, sendo

conhecidos por serem de rápida execução e apresentarem um custo menor comparado com as outras fundações rasas, por não haver a necessidade de emprego de barras de aço (SUDECAP, 2019).

Conforme Cruz (2020), as vigas de fundação, denominadas baldrame (FIG. 7), são elementos confeccionados em alvenaria, concreto simples ou concreto armado. Sua principal função é a distribuição de cargas provenientes das paredes. Entretanto, a ABNT não as conceitua como um tipo de fundação superficial, ou seja, não são normatizadas. São bastante utilizadas no Brasil, para amarração dos elementos estruturais no terreno de fundação (SOUZA; RODRIGUES, 2008).

Figura 7 – Baldrame



Fonte: Autoria própria (2021)

A escolha do tipo de fundação é realizada a partir da análise das cargas solicitantes da construção e da resistência contida nas camadas do solo. Quando as camadas iniciais apresentam resistência suficiente para resistir aos esforços atuantes, utiliza-se a fundação rasa. Caso contrário, é necessário o emprego das fundações profundas. A capacidade de suporte do solo, portanto, é fundamental para o dimensionamento da infraestrutura (APL ENGENHARIA, 2019).

2.3 Investigação geotécnica

A investigação geotécnica compreende a realização de ensaios destinados ao entendimento do comportamento mecânico do solo e das rochas, visando conhecer a fundo o perfil do terreno, bem como suas principais características. Tais aspectos são

de vasta importância para a especificação das fundações e dos equipamentos a serem utilizados (APL ENGENHARIA, 2019).

O dimensionamento estrutural dos elementos de fundação requer o conhecimento do terreno onde a estrutura será apoiada, uma vez que a falta ou a má interpretação deste podem acarretar em problemas como patologias (fissuras, trincas e etc), deslizamentos, desaprumos, aumento de custo e até mesmo questões ambientais (LIMA, 2015).

A norma especializada na prospecção geofísica, a NBR 8044 (2018), detalha alguns tipos de sondagens:

- Poços;
- Sondagens a trado;
- Sondagens a percussão – (*Standart Penetration Test* – SPT);
- Sondagens de extração de amostras.

A partir dessas sondagens, pode-se obter amostras que auxiliam na caracterização do solo. Essas podem ser deformadas, onde ocorre a modificação das suas características, ou indeformadas, permanecem com sua estrutura, umidade e textura. Por isso, a primeira é indicada apenas ao reconhecimento e classificação dos solos, já a segunda, é indicada para ensaios de granulometria, limites de *Atteberg*, densidade, umidade, cisalhamento, adensamento entre outros (RIBEIRO, 2014).

Os poços (FIG. 8) são normatizados conforme a NBR¹ 9604/2016 e proporcionam um levantamento do solo, além de levar em consideração as amostrassem deformação, em blocos ou anéis, retiradas das paredes e do fundo da escavação. Devido à perda de estabilidade no processo de escavação, esse tipo de sondagem é restrito até a profundidade do nível d'água.

¹ NBR é uma sigla usada para representar a expressão Norma Técnica. É um conjunto de normas e regras técnicas relacionadas a documentos, procedimentos ou processos aplicados a empresas ou determinadas situações. Uma NBR é criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

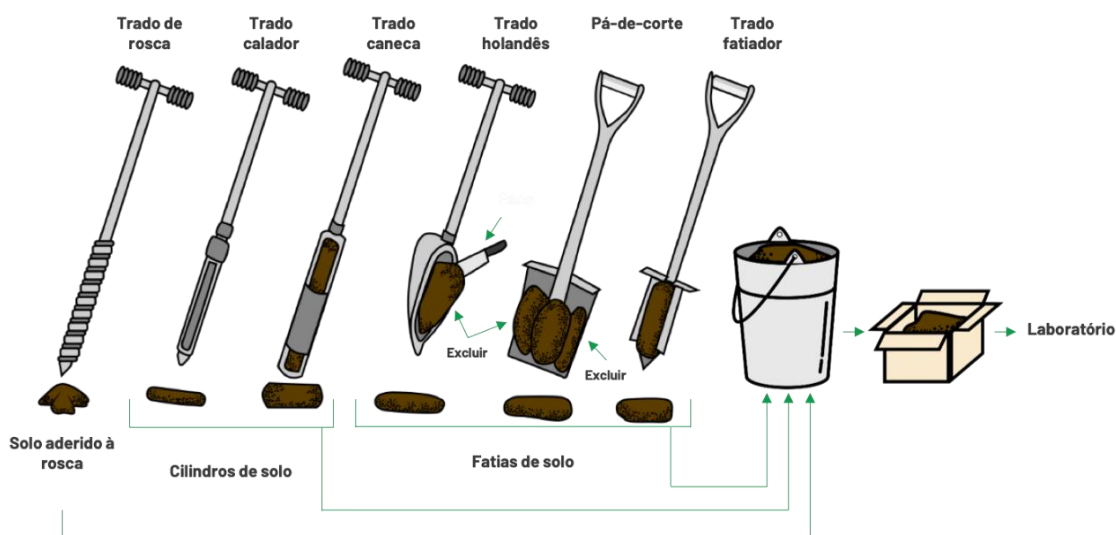
Figura 8 - Poço de sondagem



Fonte: Peixoto (2018)

Já para o trado (FIG. 9), de acordo com a NBR 9603/2015, as amostras acabam se deformando na escavação. Assim como no caso dos poços, o trado também é suscetível à instabilidade ocasionada por água, fazendo com que se limite ao nível dessa (VELLOSO; LOPES, 2014).

Figura 9 - Trado

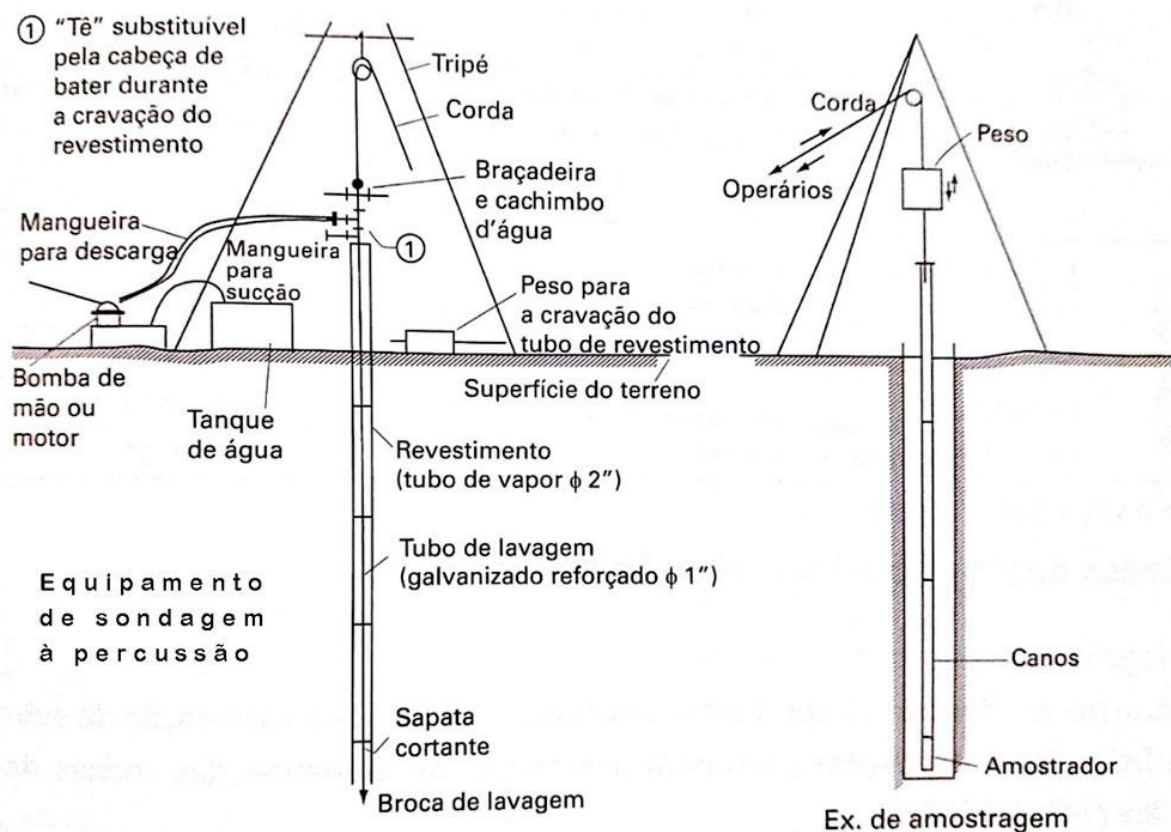


Fonte: Sanzonowicz (2004)

Em complemento, a sondagem a percussão retira amostras que viabilizam a determinação das propriedades físico-químicas do solo e, consequentemente, a profundidade de assentamento da fundação e a resistência dinâmica do terreno. Este tipo de sondagem ultrapassa o nível d'água e consegue perfurar solos compactos e

duros. Com o auxílio do equipamento (FIG. 10), a perfuração é feita a cada metro com golpes de um peso de 65 Kgf, o qual cai de uma altura de 75 cm.

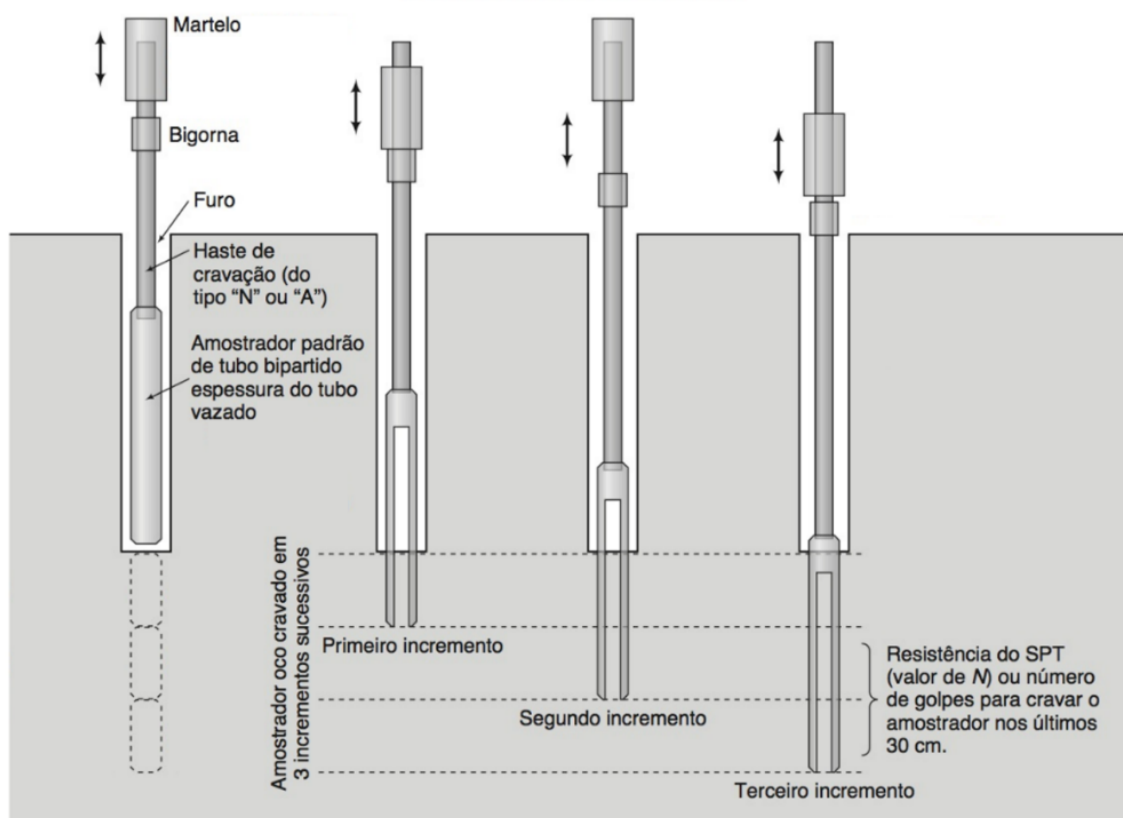
Figura 10 - Sondagem Percussão (SPT)



Fonte: Chiossi (2013)

Os primeiros 45 cm são divididos em três segmentos de 15 cm cada, onde são registrados os números de golpes necessários para a cravação do equipamento até o final dos mesmos. Assim, os 55 cm restantes são desconsiderados (VELLOSO; LOPES, 2014). A FIG. 11 mostra a sequência de cravação do SPT.

Figura 11 - Sequência de cravação no SPT



Fonte: Chiossi (2013)

O conhecimento detalhado do solo, obtido a partir de ensaios, é fundamental para o dimensionamento das fundações. Lima (2015) destaca que a sondagem evita danos monetários e, principalmente, estruturais. Isto posto, Schain (2000) aponta que no Brasil, apesar da variação do custo da sondagem em relação ao preço total da obra varia entre 0,2% a 0,5%, ainda assim muitos profissionais não as realizam.

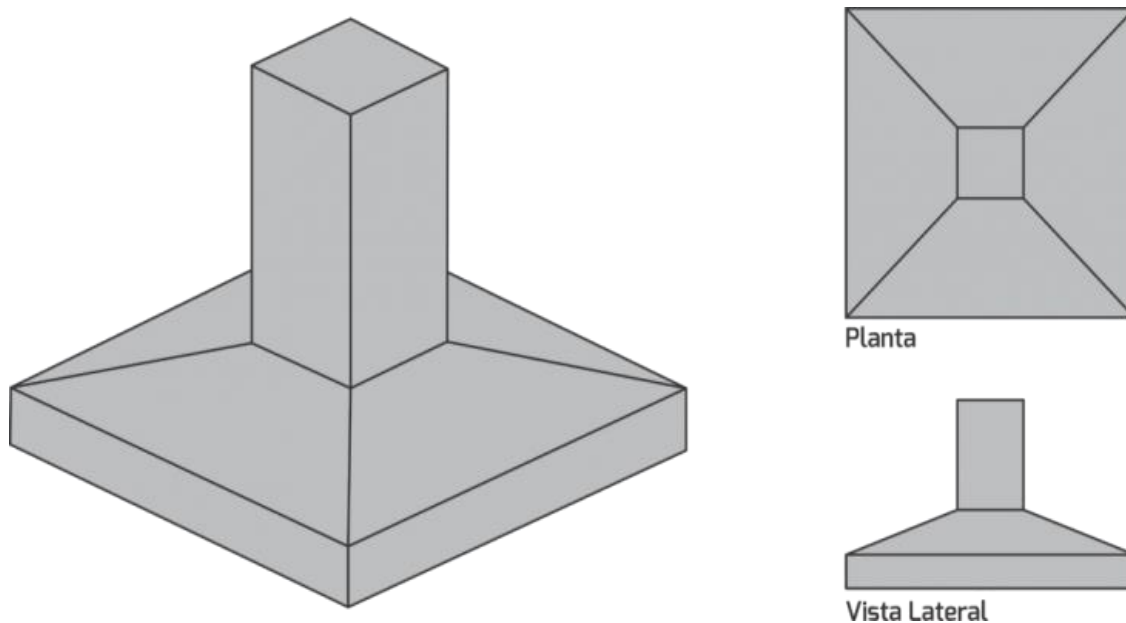
2.4 O elemento estrutural sapata de fundação

As fundações em sapatas são muito usuais no Brasil. São conhecidas como elementos que suportam elevadas cargas (quando projetadas corretamente) e possuem baixo custo, pois não necessitam de equipamentos especializados e mão de obra específica (ARCENO, 2018).

As sapatas são classificadas em sapatas isoladas, corridas, associadas e com viga alavancada. A sapata isolada (FIG.12) é assim denominada pois recebe as cargas de um único pilar e, normalmente, segue a forma do mesmo, podendo ser retangular, quadrada, poligonal e circular. Estruturalmente, estes elementos

encontram-se conectados pelas vigas baldrame ou vigas de ligação, utilizados para evitar deslocamentos laterais e auxiliar na distribuição de cargas. De acordo com os autores BASTOS (2016) e CAPUTO (1988), é a mais utilizada pela simplicidade de execução.

Figura 12 - Sapata isolada

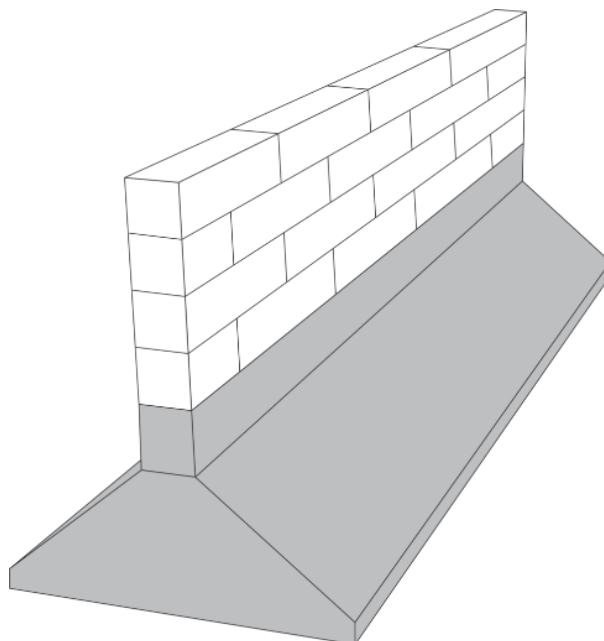


Fonte: Darós (2020)

A sapata corrida (FIG. 13) se localiza abaixo das paredes, muros e elementos alongados. Desta forma, o carregamento da estrutura é compartilhado linearmente e uniformemente ao longo de toda fundação em uma só direção (BISPO, 2015). De acordo com a NBR 6122 (2019), as sapatas corridas suportam as ações de dois ou mais pilares por toda a extensão, porém devem apresentar 70% das cargas de toda a estrutura.

O material empregado a elas podem ser o concreto simples ou concreto armado. É as sapatas corridas devem seguir as direções das paredes do elemento acima da fundação. Com isso, suas principais aplicabilidades são em alvenaria simples sem pilares ou muros (VIEIRA, 2021).

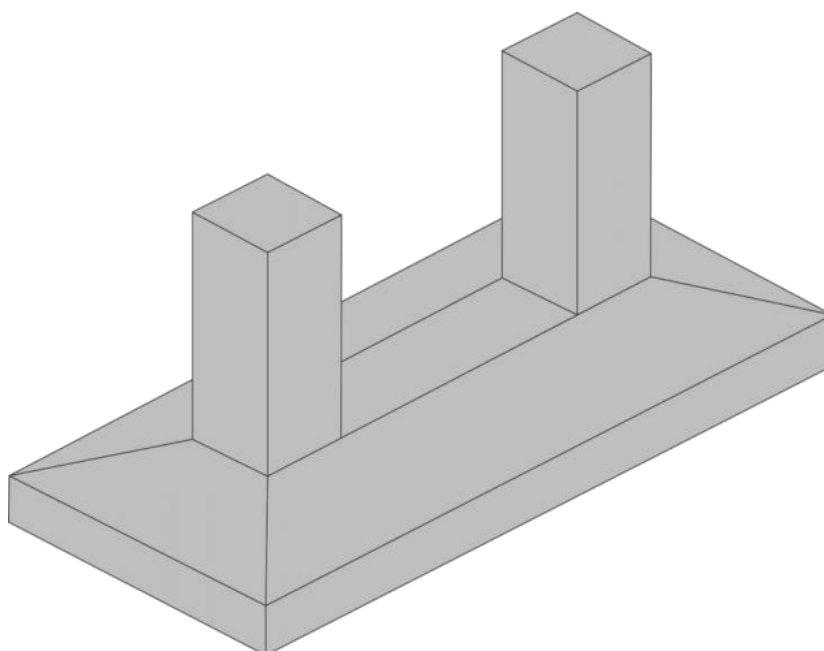
Figura13 - Sapata corrida



Fonte: Darós (2020)

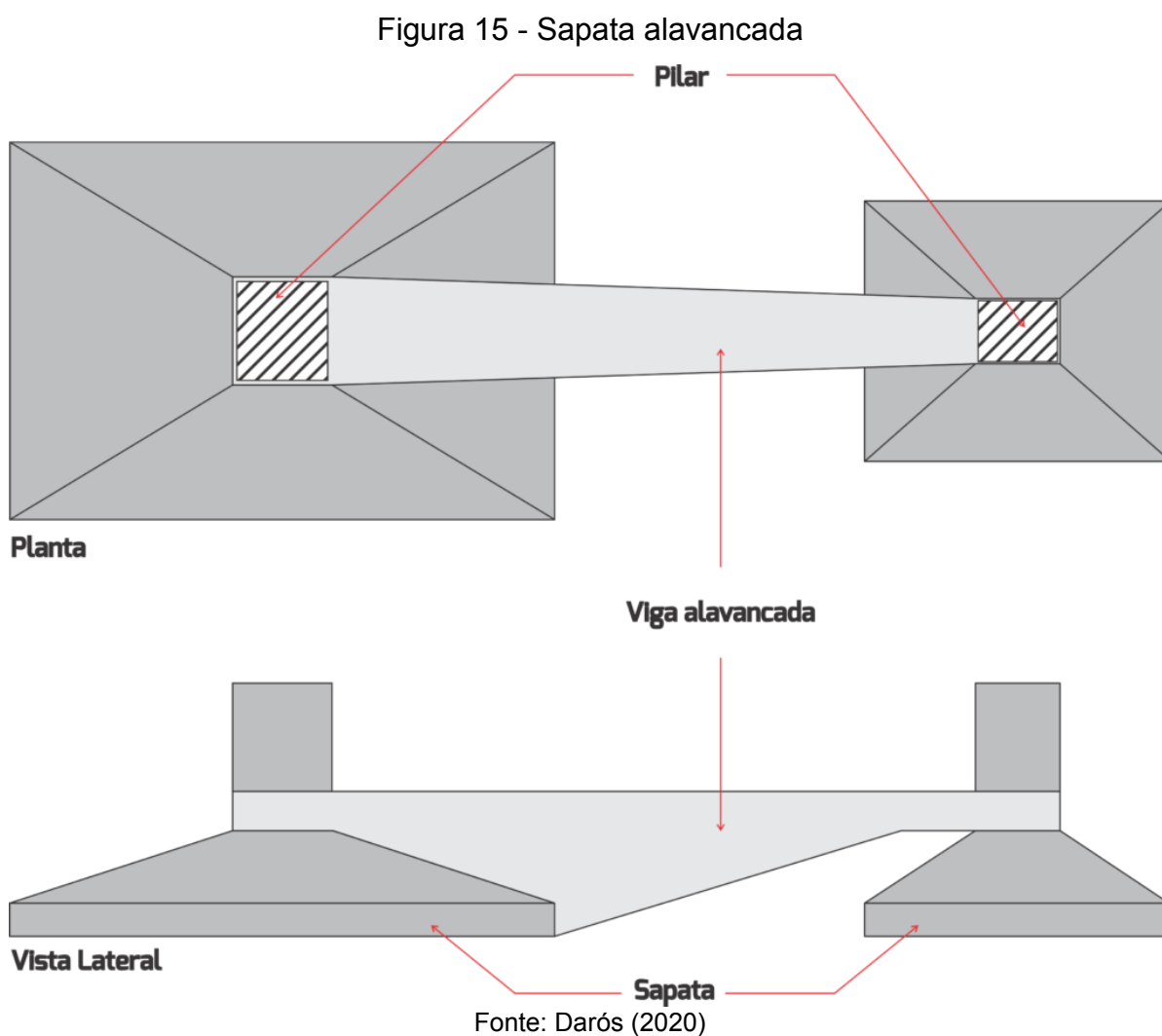
Quando há a presença de pilares muito próximos entre si e o uso de sapatas isoladas se torna impossível, pois se sobrepõem uma à outra, é usual unir as sapatas com uma viga de rigidez, tornando-a única, ou seja, uma sapata associada (FIG. 14). Esta proporciona suporte ao subsolo para as cargas que se propagam pela junção de dois ou mais pilares (TECNOSIL, 2021).

Figura 14 - Sapata associada



Fonte: Darós (2020)

E por fim, as sapatas de viga alavancada (FIG.15) são aplicadas quando a base da sapata não se encontra no mesmo centro de gravidade do pilar. O que pode ocorrer em função de obstáculos, como por exemplo, as divisas. Desta forma, é executada entre as sapatas uma viga proporcionando suporte ao carregamento dos momentos fletores originados pela excentricidade.



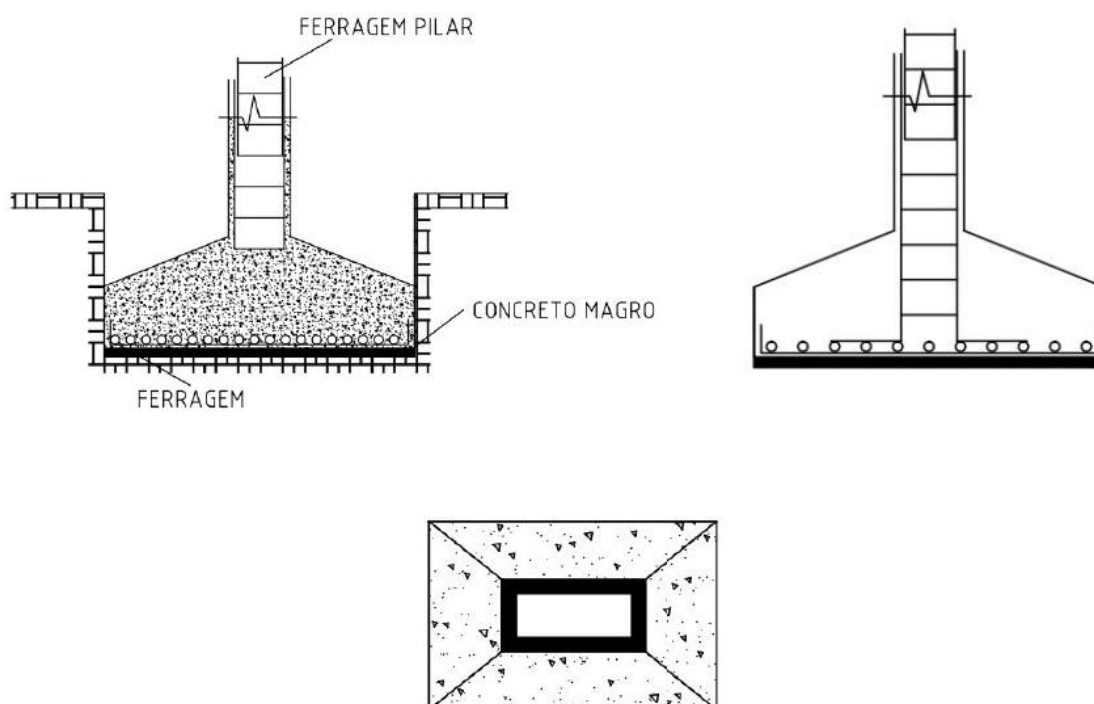
2.5 Método manual para o dimensionamento de sapatas

Para o presente trabalho, foram adotadas as recomendações dispostas nos livros “Concreto Armado Eu Te Amo”, dos renomados professores Botelho e Marchetti e “Engenharia de Fundações” do professor Dickran Berberian, considerado como precursor dos estudos aprofundados da geotecnia no Brasil. Também foram consideradas as diretrizes normativas estabelecidas pelas normas técnicas NBR

6118/2014 – Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento e NBR 6122/2019 – Projeto e execução de fundações².

O dimensionamento do elemento inicia-se com o cálculo das características geométricas da sapata de fundação, em que são estimadas as dimensões em planta e em corte (FIG. 16).

Figura 16 - Corte do elemento sapata



Fonte: Autoria própria (2021)

Para a estimativa da área da base da sapata, faz-se necessário conhecer a capacidade de suporte do solo do terreno de fundação, ou seja, a resistência deste mediante às tensões que serão distribuídas pela base da sapata em função do carregamento proveniente do pilar, bem como do peso próprio da mesma, conforme demonstra a Equação 1:

$$A_{\text{sap}} = \frac{1,1 \cdot N}{\sigma_{\text{adm}}} \text{ Equação 1}$$

² As informações apresentadas neste capítulo foram obtidas na apostila “Fundações e obras de contenção” de autoria da professora Bertola Cruz, orientadora da monografia.

Onde:

A_{sap} : Área da base da sapata;

N : Força normal proveniente do pilar;

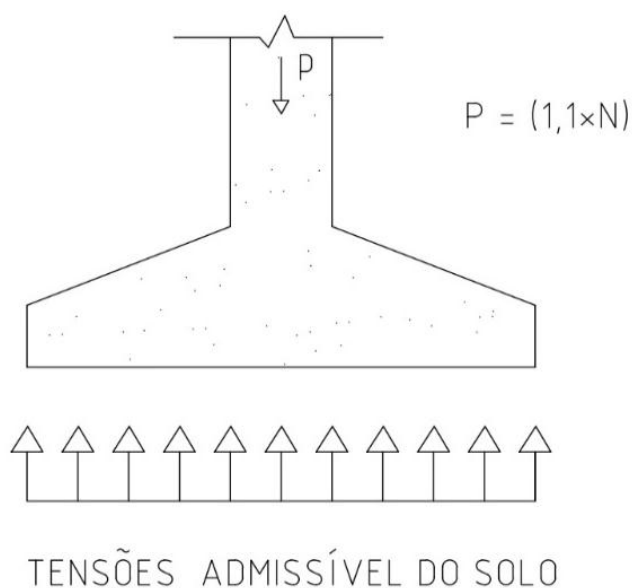
1,1: Coeficiente de majoração da carga;

σ_{adm} : Tensão admissível do solo.

O dimensionamento geotécnico ainda é um tema que requer muita pesquisa, pois o solo é um elemento com características que dependem de muitos fatores de ordem natural. Os principais métodos de estimativas práticas da carga máxima suportada pelo solo são baseados no SPT. É recomendado que seja adotada a média de pelo menos duas abordagens distintas para segurança do cálculo. Nos anexos A e B, encontram-se recomendações para as pressões básicas admissíveis segundo a NBR 6122, em sua versão anterior (1996), e a Tabela de Joppert (2007), respectivamente.

O peso próprio da sapata, neste primeiro momento, é estimado pois ainda não se sabe as dimensões volumétricas da mesma. Segundo a NBR 6122, no seu item 5.6, esse peso deve ser de no mínimo 5% da carga vertical permanente. Já o autor Berberian (2015), recomenda um fator de majoração de 10% da carga vertical. Para este trabalho, adotou-se o recomendado pelo autor. A FIG. 17 mostra a distribuição de tensões no solo.

Figura 17 – Distribuição de tensões no solo

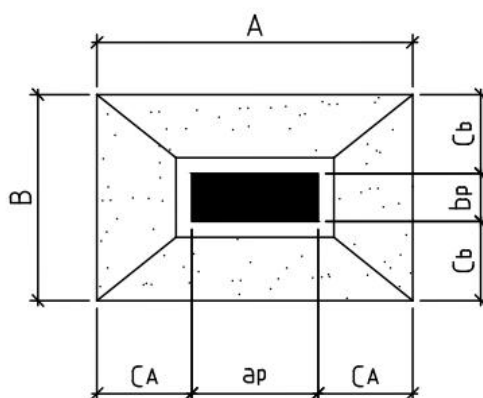


Fonte: Autoria própria (2021)

Para que as tensões de tração sejam equivalentes em ambas as direções da sapata, adota-se o disposto na Equação 2, ou seja, os balanços ilustrados pela Figura 18 devem ser proporcionais:

$$a - a_p = b - b_p \text{ Equação 2}$$

Figura 18 - balanços e dimensões geométricas da sapata



Fonte: Autoria própria (2021)

Desta forma, reorganizando a equação acima estabelece-se uma relação entre as dimensões da sapata em função das dimensões do pilar, o que torna possível obter-se um sistema determinado (Sistema de Equações):

$$\begin{cases} a \cdot b = A_{\text{sap}} = \frac{1,1 \cdot N}{\sigma_{\text{adm}}} \\ a - b = a_p - b_p \end{cases} \text{ Sistema de Equações}$$

A altura da sapata é determinada em função da verificação de sua rigidez, que deve acontecer em ambas as direções horizontais, conforme o exposto pela Equação 3 (FIG. 19), definida no item 22.6.1 da NBR 6118/2014. Quando atendida a condição, a sapata é considerada rígida, caso contrário, será classificada como flexível.

$$\begin{cases} h \geq \frac{a - a_p}{3} \\ h \geq \frac{b - b_p}{3} \end{cases} \text{ Equação 3}$$

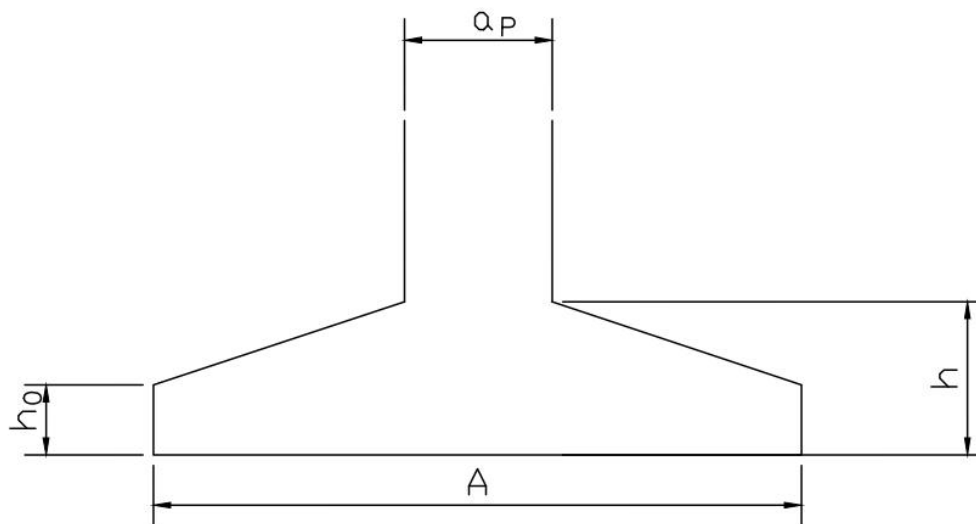
onde:

h: Altura da sapata;

a, b: Dimensão em planta da sapata em uma direção;

a_p, b_p: Dimensão do pilar na mesma direção da sapata.

Figura 19 - Variáveis da Equação



Fonte: Autoria própria (2021)

Segundo a NBR 6118 (2014), a altura da sapata deve ser suficiente para garantir a ancoragem da armadura do pilar, que tem como função unir estes elementos para que haja a transferência de esforços (ABNT NBR 6118/2014 item 9.4).

O comprimento de ancoragem é determinado pela equação 4:

$$\ell_b : \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \leq 25\phi \text{ Equação 4}$$

Onde:

ℓ_b : Comprimento de ancoragem;

ϕf_{yd} : Tensão de escoamento do aço;

f_{bd} : Resistência a aderência;

ϕ : Diâmetro da barra.

Visto que f_{bd} é definido pela NBR 6118 (2014) item 9.3.2, como resistência de aderência entre o concreto e a armadura calculada a partir da resistência a tração do concreto, encontrada pela equação 5.

$$f_{bd} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * f_{ctd} \text{ Equação 5}$$

Onde:

f_{bd} : Resistência a aderência do concreto e armadura;

η_1 : Coeficiente de aderência (TAB. 1) (NBR 6118/2014, tabela 8.3);

η_2 : Coeficiente de condição de aderência (TAB. 2)(NBR 6118/2014, tabela 9.3.1);

η_3 : Coeficiente de aderência de acordo com a bitola (TAB. 3) (NBR 6118/2014, item 9.3.2.1);

f_{ctd} : Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento.

Tabela 1- Coeficiente de aderência η_1

Tipo de superfície	η_1
Lisa	1,0
Entalhada	1,4
Nervurada	2,25

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Tabela 2 - Coeficiente de condição de aderência η_2

Condição de aderência	η_2
Boa ($i > 45^\circ$)	1,0
Má ($i < 45^\circ$)	0,7

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Tabela 3 - Coeficiente de aderência de acordo com a bitola η_3

Coeficiente de aderência	η_3
$\varnothing < 32 \text{ mm}$	1,0
$\varnothing \geq 32 \text{ mm}$	$132 - \varnothing / 100$

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

O próximo cálculo realizado para o dimensionamento do concreto é a tração do mesmo, a qual pode ser encontrada através da resistência característica a compressão (Equação 6).

$$f_{ct}: 0,21 * f_{ck}^{\frac{2}{3}} \text{ Equação 6}$$

Onde:

f_{ct} : Resistência a tração do concreto;

f_{ck} : Resistência característica do concreto à compressão.

A NBR 6118 (2014) item 9.4.2.5 especifica o cálculo da ancoragem necessária (Equação 7), a fim de não utilizar aço excessivamente.

$$\ell_{b,nec}: \alpha * l_b * \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \text{ Equação 7}$$

Onde:

$\ell_{b,nec}$: Comprimento de ancoragem necessária;

α : Coeficiente do tipo de barra (TAB.4);

l_b : Comprimento de ancoragem;

$A_{s,cal}$: Área armadura calculada;

$A_{s,ef}$: Área armadura efetiva.

Tabela 4 - Coeficiente α

Tipo de barra	α
Com gancho	0,7
Sem gancho	1,0

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Contudo, o professor Urbano (2017), por meio de vários testes, criou uma tabela que tornou mais fácil todo esse cálculo de ancoragem. Segue a tabela prática (TAB. 5) desenvolvida para barras de aço CA-50.

Tabela 5 - Comprimento de ancoragem para aço CA-50

Concreto	Sem gancho	Com gancho
C15	53Ø	37Ø
C20	44Ø	31Ø
C25	38Ø	26Ø
C30	33Ø	23Ø
C35	30Ø	21Ø
C40	28Ø	19Ø
C45	25Ø	18Ø
C50	24Ø	17Ø

Fonte: Urbano (2017)

Por fim, calcula-se a altura útil (Equação 8) e verifica-se a condição (Equação 9).

$$d = H - \text{cobrimento} - \frac{\phi_s}{2} \text{Equação 8}$$

Onde:

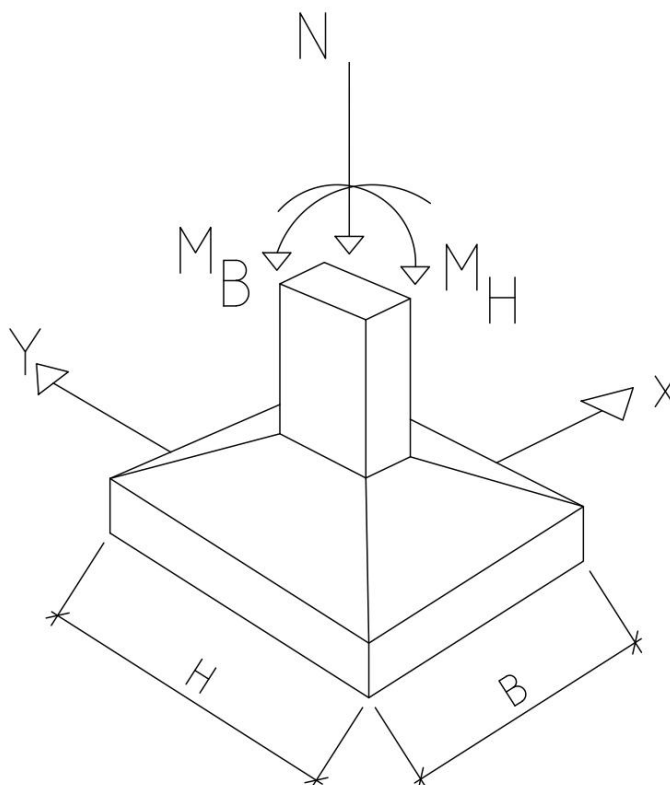
d: Altura útil;

ϕ_s : Diâmetro da barra da barra da sapata.

$$L_b < d \text{ Equação 9}$$

Para que sejam considerados os momentos fletores em função da excentricidade (distância do centro do pilar com o centro da sapata), em relação ao eixo de simetria do elemento, no ponto de aplicação da força, deve-se verificar o efeito global das forças atuantes no sistema sapata-solo (FIG. 20) (BERBERIAN, 2015).

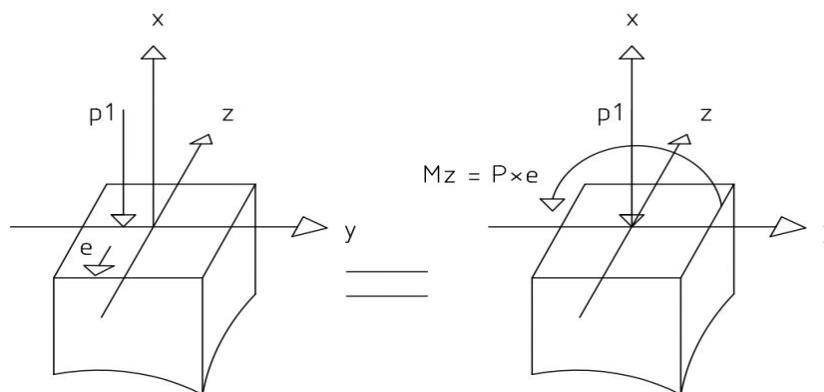
Figura 20 - Efeito global das ações atuantes em sapatas isoladas



Fonte: Autoria própria (2021)

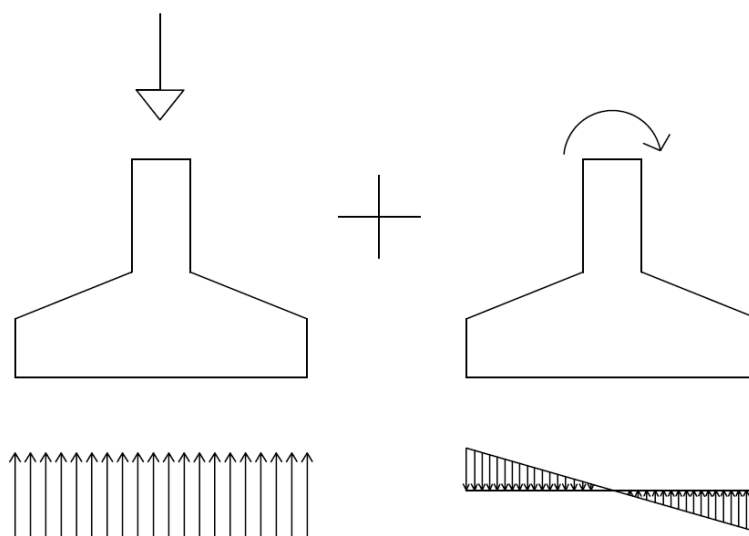
A ação combinada da força normal e dos momentos fletores é denominada flexão composta (FIG. 21), cujo diagrama de tensões é expresso pela FIG. 22.

Figura 21 – Flexão composta



Fonte: Autoria própria (2021)

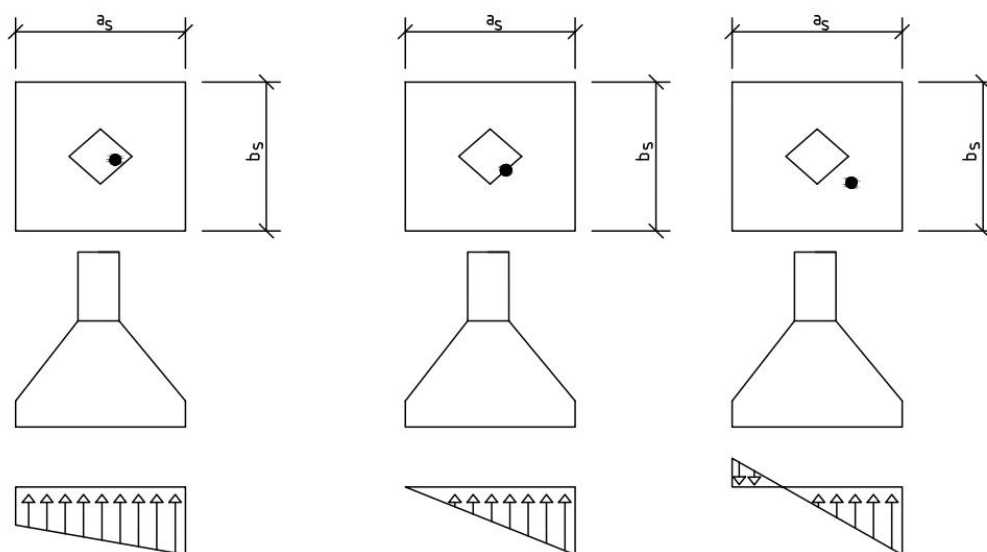
Figura 22 – Diagrama de tensões



Fonte: Cruz (2020)

Como já citado, o solo recebe algumas tensões e como o seu comportamento é considerado elástico, a superfície de apoio das sapatas sofre reações diferentes. Devido à ação do vento e dos efeitos de segunda ordem surgirá os momentos, sendo que se a carga for centrada e os momentos pequenos, a reação do solo será uniforme, podendo ser desprezados. Porém, se os momentos forem considerados grandes e as cargas localizadas fora do núcleo de inércia ou em sua extremidade, eles acarretarão a tensão de tração na base da sapata, o que é inoportuno ao dimensionamento (FIG.23) (ABNT NBR 6118/2014, item 22.6.22).

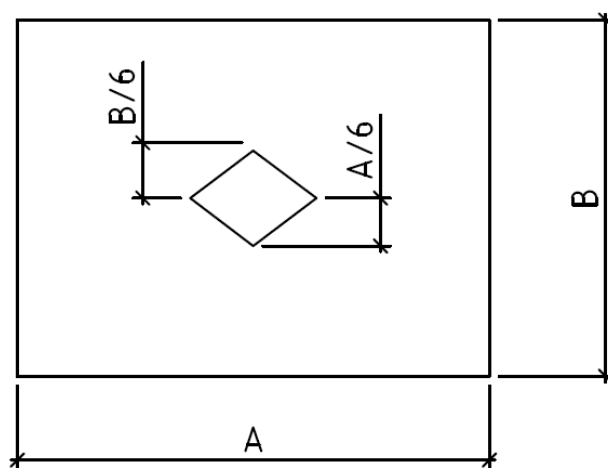
Figura 23 - Diagrama de tensões resultantes



Fonte: Autoria própria (2021)

Como a inércia é uma propriedade geométrica, sendo a rigidez do elemento de fundação, o centro de inércia da sapata retangular deve ser calculado (FIG. 24).

Figura 24 - Núcleo central de inércia para formas retangulares



Fonte: Schiavon (2012)

Por fim, com a tensão atuante aplicada dentro do núcleo central de inércia do pilar tem-se o diagrama trapezoidal. Consequentemente, a tensão total é determinada pela Equação 10, evitando assim que ocorra o cisalhamento.

$$\sigma_{m\acute{a}x;m\acute{i}n} = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot z}{I} \text{ Equa\c{c}\~ao 10}$$

onde:

$\sigma_{m\acute{a}x;m\acute{i}n}$: Tensão máxima e tensão mínima;

P: Carga do pilar;

A: Área da sapata;

M: Momento fletor;

z: Profundidade;

I: Momento de inércia.

Outro cálculo é o dimensionamento do concreto, sendo de extrema importância em função da necessidade de o concreto da sapata ter que resistir aos esforços antes de transmiti-los ao solo. Desta maneira, as tensões de cisalhamento deverão ser verificadas, tendo em vista que o cisalhamento é causado devido às forças aplicadas serem em sentidos e direções semelhantes. Assim, calcula-se a tensão de cisalhamento solicitante (Equação 11) (NBR 6118/2014 item 19.5.2.1), e na NBR 6118 (2014) no item 17.4.2.2 especifica a tensão resistente (Equação 12) e é feita a verificação (Equação 13), estando o dimensionamento adequado se cumprida (BERBERIAN, 2015).

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{sd}}{U_0 \times d} \text{ Equação 11}$$

Onde:

σ_{sd} : Tensão de cisalhamento solicitante;

F_{sd} : Força atuante do pilar;

U_0 : Perímetro do pilar;

d : Altura útil.

$$\sigma_{Rd2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{F_{ck}}{250}\right) \times F_{cd} \text{ Equação 12}$$

Onde:

σ_{Rd2} : Tensão de cisalhamento resistente;

F_{ck} : Resistência característica do concreto;

F_{cd} : Resistência de cálculo do concreto.

$$\sigma_{sd} < \sigma_{Rd2} \text{ Equação 13}$$

Onde:

σ_{sd} : Tensão de cisalhamento solicitante;

σ_{Rd2} : Tensão de cisalhamento resistente.

A última etapa a ser feita é o dimensionamento das armaduras. Porém, para adotar o Método das Bielas no dimensionamento da armadura, é imprescindível atender a seguinte condição (Equação 14).

$$d \geq \frac{b-b_0}{4} \text{ Equação 14}$$

Onde:

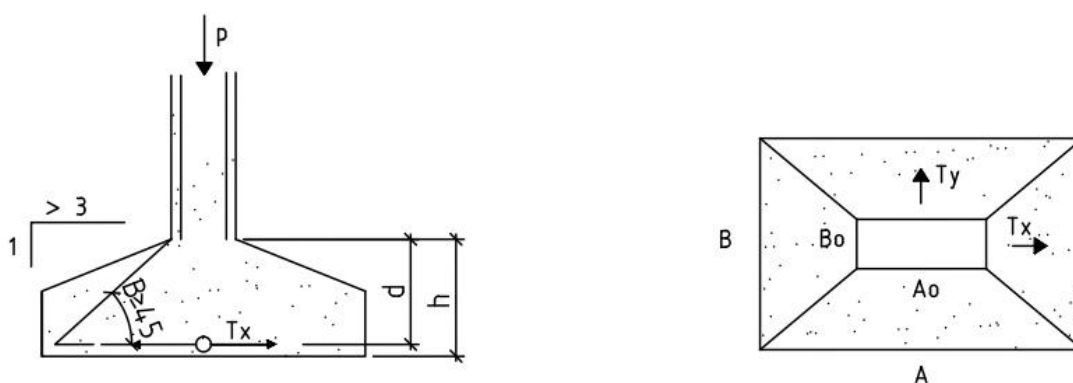
d : Altura útil;

b : Dimensão da sapata em uma das direções;

b_0 : Dimensão do pilar na mesma direção (b).

Em seguida são encontradas as tensões de tração na base da sapata (FIG. 25). Elas atuam nas duas direções x e y , onde a tração no eixo x é dada por T_x (Equação 15) e no eixo y por T_y (Equação 16) (CARVALHO,2015).

Figura 25 - Tensões atuantes na sapata rígida



Fonte: Autoria própria (2021)

$$Tx = \frac{Pt \times (a - a_0)}{8 \times d} \text{ Equação 15}$$

$$Ty = \frac{Pt \times (b - b_0)}{8 \times d} \text{ Equação 16}$$

Onde:

Tx : Tração na direção x;

Ty : Tração na direção y;

Pt : Carga total do pilar;

a : Dimensão da sapata em uma das direções (vertical);

a_0 : Dimensão do pilar na mesma direção (a);

b : Dimensão da sapata em uma das direções (horizontal);

b_0 : Dimensão do pilar na mesma direção (b).

Com isso, é possível encontrar a área da armadura necessária, dada pela a Equação 17, e o número de barras necessárias para resistir aos esforços de tração encontrados (Equação 18) (ABNT NBR 6118/2014 item 14.2.3).

$$Asd = \frac{1,61 \times T}{F_{yk}} \text{ Equação 17}$$

Onde:

Asd : Área de armadura necessária;

T : Força de tração;

F_{yk} : Resistência característica de escoamento.

$$nb = \frac{Asd}{A_b} \text{ Equação 18}$$

Onde:

nb : Número de barras;

Asd : Área da armadura necessária;

Ab : Área da barra.

Já para o cálculo do espaçamento mínimo entre a armadura, calcula-se com base da equação 19.

$$e = \frac{a-2*cob}{nb-1} \text{ ou } e = \frac{b-2*cob}{nb-1} \text{ Equação 19}$$

Onde:

e: Espaçamento;

a e b: Dimensões da sapata;

cob: Cobrimento;

nb: Número de barras.

2.5 Estudo de caso

2.5.1 Apresentação

O projeto a ser comparado com o método manual foi disponibilizado pelo o engenheiro civil Lucas Stefani Salgarello, que utilizou o *software Eberick* para o dimensionamento estrutural no método computacional.

A edificação em questão é uma casa unifamiliar de dois pavimentos, construída em área urbana, localizada no bairro São José, no Condomínio Village Real, na cidade de Barbacena/MG. A estrutura será construída toda em concreto armado, com área total de 382,25 m², devido ao terreno ser em declive, será construído o primeiro pavimento abaixo do nível da rua e o segundo pavimento ao nível desta (FIG. 26).

Figura 26 - Registro de satélite da localidade do terreno



Fonte: Autoria própria (2021)

O terreno (FIG. 27) tem dimensões de 12 m x 30 m, sendo sua área total de 360 m², que é uma padronização do condomínio. A obra terá apenas a fundação da garagem encostada na divisa do terreno, no restante da edificação realizou-se um recuo de 1,5 m das divisas, respeitando as normas estabelecidas pela a prefeitura da cidade onde fala que as áreas de ventilações como janelas e varandas são necessárias ter este espaçamento, e também para evitar problemas futuros, como infiltrações ou danificação na obra do vizinho (trincas), quando a construção é realizada colada a divisa.

O engenheiro responsável pela a obra não realizou a sondagem do solo, portanto, não foi elaborado o laudo geotécnico para a construção, como indicado na ABNT NBR 6484 (2020). Através de uma análise visual do terreno, comparecendo *in loco*, no mesmo, onde foi possível determinar que se trata de um solo argiloso, devido à consistência e coloração que o mesmo apresentou. Então com essas informações foi possível utilizar a Tabela de Joppert (2007) presente no ANEXO A, onde apresenta a estimativa dos parâmetros físicos e resistência das camadas do solo. O solo considerado foi um solo coesivo, de argila porosa vermelha e amarela, com tensão admissível de 1,5 kgf/cm², sendo essa tensão estimada através desta tabela e a consideração da análise visual do solo feita, por este motivo não será realizado o cálculo da tensão admissível manualmente, será utilizada a tensão admissível do programa. Para o solo tem-se também um peso específico de 1600 kgf/m³ e as sapatas com profundidade de 1,5 m, lembrando que se diminuiu a resistência da argila a favor da segurança.

Figura 27 - terreno



Fonte: Autoria própria (2021)

2.5.2 Considerações sobre o Eberick

Para o dimensionamento de sapatas do projeto disponibilizado para a realização deste trabalho utilizou-se o software *Eberick*. Este programa foi desenvolvido pela empresa brasileira AltoQi, possuindo sua própria plataforma CAD (*Computer - Aided Design*) e uma metodologia BIM (*Building Information Modeling*), onde possibilita a criação de diversos projetos estruturais em concreto armado, metálicos ou mistos, e ainda fazer as devidas verificações dos estados limites Último e de Serviço de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014).

Ao apresentar o software e como foi realizado o dimensionamento, primeiramente foi mostrada a aba de materiais e durabilidade, onde nela contém as informações sobre a classe de agressividade do concreto, então por ser uma edificação em área urbana utiliza-se classe II (moderada) que também está de acordo com a Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA) (FIG. 28) que se encontra na página 17 da NBR 6118 (2014).

Figura 28 – Classe de agressividade ambiental

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fracá	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118 (2014)

Logo após, mostrou-se onde indica todos os tipos de fundações e o cobrimento a ser adotado, então o programa considerou-se de 4,5 mm para fundações, porém na ABNT NBR 6118 (2014) recomenda-se no mínimo de 5 mm.

O programa também permite colocar as bitolas (diâmetro da seção transversal da barra de aço) e escolher qual utilizar em cada uma das estruturas, normalmente utiliza-se bitolas de até 16 mm, pois a partir de 20 mm fica mais difícil de fazer a dobradura da ferragem na obra, tendo que usar um maçarico para facilitar.

Para a verificação do estado limite de serviço (conforto e durabilidade da estrutura) e estado limite último (esgotamento de suporte da estrutura), o programa já considera qual será a fissura máxima de cada peça, garantindo assim mais estabilidade e segurança para a edificação.

No dimensionamento das sapatas pelo programa os momentos encontraram-se zerados, devido a aplicação de um pilar surgindo no térreo, tornando-se assim um pilar de fundação, sendo exposto que os pilares não passam momentos para a fundação, fazendo com que sejam zerados. Porém mesmo zerados, os esforços são transferidos de uma estrutura para outra, então os arranques suportam estes esforços. Considerando o apoio da fundação como rotulado (mais indicado no dimensionamento utilizando o *Eberick*).

Em pilares que se encontram muito próximos, para as sapatas de fundação não ficarem uma em cima da outra foram feitas vigas de equilíbrio. Algumas informações e considerações do dimensionamento de sapatas seguem na FIG. 29 abaixo:

Figura 29 – Considerações para o dimensionamento de sapatas pelo o programa Eberick

Dimensionamento [Sapatas]

Pilares Vigas Lajes Sapatas Blocos Muros

Dimensões

Altura da sapata constante se $h_1 < \text{que}$ 25 cm

Dimensões múltiplas de 5 cm

Aggrupar com diferença de lados < que 5 cm

Lado maior inferior a 300 cm

Influência do fator de forma 1

Profundidade do solo 100 cm

Valores mínimos

Altura maior (H1) 25 cm

Altura menor (H0) 20 cm

Balanço mínimo 20 cm

☒ Altura útil maior que a espera do pilar

Solo

Tipo do solo coesivo

Pressão admissível 1.5 kgf/cm²

Coesão 0.5 kgf/cm²

Peso específico 1600 kgf/m³

Ângulo de atrito 30

Redutor do atrito 0.67

Majoração de pressão para cargas excêntricas 1

Momento mínimo para considerar flexão 50 kgf.m

Armadura... Coeficientes...

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Disponibilizado pelo o engenheiro civil Lucas StefaniSalgarello (2021)

2.5.3 Resultados e Discussões

A análise comparativa inicia-se com os valores das dimensões, cargas e momentos (M_x e M_y) dos pilares distintos (TAB. 6), onde foram retirados das planilhas de dimensionamento geradas pelo *software Eberick* (AltoQi) (ANEXO B). No ANEXO C encontra-se a planta de locação dos 30 pilares e no Anexo 4 a representação das sapatas em 3D para um maior entendimento.

Porém neste trabalho não será exposto nenhum detalhamento dos pilares, no entanto é possível observar 11 pilares (P1, P2, P3, P8, P9, P17, P18, P21, P22, P23 e P24) apoiados em vigas de transição, onde a função das mesmas é transmitir as cargas para outros pilares. No qual estes pilares também não serão expostos neste trabalho, devido o objetivo principal de dimensionamento ser as sapatas de fundação.

Tabela 6 - Dados para o dimensionamento

Pilar				
Nome	Seção (cm)	Carga máxima (tf)	Mx (tf.cm)	My (tf.cm)
P4	15X40	22,5	0,09164	0,24436
P5	15X40	29,23	0,11758	0,31355
P6	15X40	20,41	0,08285	0,22093
P7	15X40	10,88	0,0442	0,11788
P10	15X40	33,88	0,13698	0,36527
P11	15X40	25,45	0,1029	0,2744
P12	15X40	43,41	0,17545	0,46788
P13	15X40	44,35	0,18013	0,48034
P14	15X40	15,44	0,06256	0,16683
P15	15X40	13,66	0,05564	0,14837
P16	15X40	23,88	0,09686	0,2583
P19	15X40	15,28	0,06178	0,16475
P20	15X40	18,6	0,07539	0,20104
P25	15X40	7,35	0,02942	0,07845
P26	15X40	5,44	0,02175	0,058
P27	15X40	10,33	0,0384	0,10241
P28	15X40	9,53	0,03811	0,10163
P29	15X40	29,2	0,11634	0,31023
P30	15X40	17,12	0,06954	0,18545

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Para o dimensionamento manual (APÊNDICE A) de todas as sapatas, foi elaborada rotinas de cálculos com o auxílio do programa computacional *EXCEL* (2013) (APÊNDICE B) a fim de otimizar tempo de dimensionamento. Onde segue o determinado roteiro: Dimensionamento das cargas; Geometria da sapata; Dimensionamento da flexão composta; Dimensionamento do concreto; Dimensionamento da armadura.

Em ambos, adotou-se um f_{ck} ³ de 25 MPa para o concreto e aço CA 50. Foram adotados também os diâmetros do pilar e da armadura, sendo de 10 mm e 8 mm respectivamente.

Para o dimensionamento geométrico da sapata os métodos comparados contêm os princípios iguais para obter as dimensões, largura e comprimento. Assim é

³ f_{ck} é uma sigla usada para o termo em inglês *Feature Compression Know*. Ele é utilizado para a indicação da resistência característica do concreto à compressão, um dado de extrema importância para o cálculo exato da medida de material em relação à estrutura utilizada.

possível realizar-se as tensões de tração na base, tal como a armadura necessária para combater os esforços atuantes.

Com isso, inicia-se a comparação da geometria da sapata em ambos os métodos, onde os valores estão anexados na tabela a baixo (TAB.7).

Tabela 7- Estimativa geométrica

Sapata								
Método	Manual				Eberick			
Nome	Dimensões (cm)				Dimensões (cm)			
	a	b	h	H	A	b	H	H
S4	140	115	15	35	140	115	20	40
S5	160	135	15	40	160	135	20	50
S6	135	110	15	35	135	110	20	40
S7	105	80	15	35	100	80	25	40
S10	170	145	15	45	170	145	20	45
S11	150	125	15	40	150	125	20	40
S12	190	165	15	50	190	165	20	50
S13	190	165	20	50	190	165	20	50
S14	120	95	20	35	120	95	20	40
S15	115	90	15	35	110	90	20	40
S16	145	120	15	35	145	120	20	40
S19	120	95	15	35	120	95	20	40
S20	130	105	15	35	130	105	20	40
S25	90	65	15	35	90	65	25	40
S26	80	55	15	35	80	55	30	40
S27	105	80	15	40	115	90	20	40
S28	100	75	15	35	100	75	25	40
S29	160	135	20	40	130	165	35	60
S30	125	100	15	35	125	100	20	40
	Diferença da dimensão na direção a;							
	Diferença da dimensão na direção b;							
	Diferença na altura da aba da sapata;							
	Diferença na altura da aba da sapata.							

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

As diferenças contidas nos cálculos das alturas se dão pelo fato da necessidade do aumento da aba e da altura da sapata nos cálculos manuais, este aumento resultou-se para atender a condição presente na Equação 9. E também pela ressalva descrita na FIG. 29, onde o projetista do dimensionamento no *Eberick* estipulou valores mínimos de 25 cm e 20 cm para as alturas da aba e sapata respectivamente.

Desse modo, após o dimensionamento da área da armadura, foi possível obter as variações entre os métodos que se encontram representadas na TAB. 8 a seguir:

Tabela 8 - Comparativo da área da armadura da sapata entre os métodos, manual e o software Eberick.

Comparativo da Área da Armadura (Sapata)						
Método	Manual		Eberick		Variação	
Nome	Asy (cm ²)	Asx (cm ²)	Asy (cm ²)	Asx (cm ²)	Δ Asy (%)	Δ Asx (%)
S4	3,37	3,37	5,03	7,04	49,26	108,90
S5	4,49	4,49	7,04	8,64	56,79	92,43
S6	2,90	2,90	5,03	6,53	73,45	125,17
S7	1,06	1,06	4,02	5,53	279,25	421,70
S10	4,92	4,92	7,04	9,05	43,09	83,94
S11	3,58	3,58	5,53	7,54	54,47	110,61
S12	6,46	6,46	8,64	10,21	33,75	58,05
S13	6,60	6,60	8,64	10,21	30,91	54,70
S14	1,85	1,85	4,02	6,03	117,30	225,95
S15	1,53	1,53	4,02	5,53	162,75	261,44
S16	3,75	3,75	5,53	7,04	47,47	87,73
S19	1,83	1,83	4,02	6,03	119,67	229,51
S20	2,50	2,50	4,52	6,53	80,80	161,20
S25	0,55	0,55	3,02	4,52	449,09	721,82
S26	0,33	0,33	3,02	4,52	815,15	1269,70
S27	0,86	0,86	4,02	5,53	367,44	543,02
S28	0,86	0,86	3,52	5,53	309,30	543,02
S29	4,48	4,48	11,78	10,21	162,95	127,90
S30	2,18	2,18	4,52	6,03	107,34	176,61
	Diferença da área da armadura em y;					
	Diferença da área da armadura em x;					
	Variação entre os métodos da área da armadura em y;					
	Variação entre os métodos da área da armadura em x;					

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

O principal fator responsável pela variação da área da armadura é o emprego das tensões, no qual o *software* não considera que as mesmas sejam uniformes, por outro lado o cálculo manual sim. O *software Eberick* faz uma verificação em todas as tensões existentes nas direções da sapata. Sendo assim pode-se dizer que ele exerce interações a mais comparado com o manual, se tornando mais eficaz nas majorações das cargas.

Os dimensionamentos da quantidade de aço por sapata estão representados nas TAB. 12 e 14. Para este fim, no cálculo manual realizou-se estimativas para melhorar os espaçamentos entre os números de barras de cada sapata na direção a (TAB. 9) e na direção b (TAB. 10), já no computacional não foi necessário fazer esta estimativa (TAB. 11).

Logo percebe-se uma grande diferença comparando os dois métodos, onde no cálculo manual gastou-se 36 barras ($\varnothing$ 8.0 mm) (TAB. 13) e no cálculo computacional 34 barras ($\varnothing$ 8.0 mm) e 13 barras ($\varnothing$ 10.0 mm) (TAB. 15). E cobrimento das armaduras aplicados foram de 5,0 (NBR 1618/2014, item 7.4.7.4) e de 4,5 respectivamente.

Proporcionando assim uma economia de 32,14% no valor total de dinheiro gasto em barras de aço (TAB. 16).

Tabela 9 - Números de barras de aço e espaçamentos, direção A

Sapatas	Cálculo manual - direção a		
	Nºde barras Necessário	Nºde barras Dimensionado	Espaçamento (cm)
S4	7	10	12
S5	9	10	14
S6	6	10	12
S7	3	7	13
S10	10	15	10
S11	8	11	12
S12	13	10	17
S13	14	10	17
S14	4	8	13
S15	4	7	14
S16	8	11	11
S19	4	8	13
S20	5	8	14
S25	2	5	15
S26	1	5	13
S27	2	7	13
S28	2	6	14
S29	9	12	14
S30	5	9	12

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 10 - Números de barras de aço e espaçamentos, direção B

Cálculo manual - Direção b		
Nºde Barras Necessário	Nºde Barras Dimensionado	Espaçamento (cm)
7	7	14
9	10	12
6	10	9
3	5	13
10	12	10
8	10	11
13	10	15
14	12	12
4	7	11
4	5	15
8	10	10
4	6	13
5	8	11
2	5	10
1	4	10
2	8	8
2	5	12
9	11	13
5	7	12

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 11- Números de barras de aço e espaçamentos

Eberick				
Sapatas	Direção a		Direção b	
	Nºde barras	Espaçamento (cm)	Nºde barras	Espaçamento (cm)
S4	14	10	10	11
S5	11	14	14	9
S6	13	10	10	11
S7	11	9	8	10
S10	18	9	14	10
S11	15	10	11	11
S12	13	14	11	15
S13	13	14	11	15
S14	12	10	8	11
S15	11	10	8	11
S16	14	10	11	11
S19	12	10	8	11
S20	13	10	9	11
S25	9	9	6	10
S26	9	8	6	9
S27	11	10	8	11
S28	11	9	7	10
S29	13	10	15	11
S30	12	10	9	11

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 12 - Quantitativo de aço por sapata

Manual						
Sapatas	Nº de Barras		Diâmetro		Total em (kg)	
	Direção a	Direção b	A	B	A	B
S4	10	7	8.0	8.0	5,61	3,24
S5	10	10	8.0	8.0	6,4	5,41
S6	10	10	8.0	8.0	5,41	4,42
S7	7	5	8.0	8.0	2,96	1,62
S10	15	12	8.0	8.0	10,19	6,97
S11	11	10	8.0	8.0	6,6	5,02
S12	10	10	8.0	8.0	7,58	6,6
S13	10	12	8.0	8.0	7,58	7,92
S14	8	7	8.0	8.0	3,86	2,68
S15	7	5	8.0	8.0	3,24	1,82
S16	11	10	8.0	8.0	6,39	4,82
S19	8	6	8.0	8.0	3,86	2,3
S20	8	8	8.0	8.0	4,17	3,38
S25	5	5	8.0	8.0	1,82	1,32
S26	5	4	8.0	8.0	1,62	0,9
S27	7	8	8.0	8.0	2,96	2,59
S28	6	5	8.0	8.0	2,42	1,52
S29	12	11	8.0	8.0	7,68	5,95
S30	9	7	8.0	8.0	4,51	2,82

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 13 - Resumo de barra de aço (cálculo manual)

Ø Bitola(mm)	Peso da Barra	Kg/m	Total de Barras	Valor Unitário	Total
8.0	4,74 kg	0,395	36	R\$ 43,00	R\$1.548,00

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 14 - Quantitativo de aço por sapata

Cálculo computacional - Eberick						
Sapatas	Nº de Barras		Diâmetro		Total de aço em (kg)	
	Direção a	Direção b	A	B	A	B
S4	14	10	8.0	8.0	7,91	4,66
S5	11	14	10.0	8.0	11,33	7,63
S6	13	10	8.0	8.0	7,09	4,46
S7	11	8	8.0	8.0	4,48	2,62
S10	18	14	8.0	8.0	12,3	8,18
S11	15	11	8.0	8.0	9,07	5,56
S12	13	11	10.0	10.0	15,8	11,67
S13	13	11	10.0	10.0	15,8	11,67
S14	12	8	8.0	8.0	5,83	3,1
S15	11	8	8.0	8.0	4,91	2,94
S16	14	11	8.0	8.0	8,18	5,34
S19	12	8	8.0	8.0	5,83	3,1
S20	13	9	8.0	8.0	6,83	3,84
S25	9	6	8.0	8.0	3,31	1,61
S26	9	6	8.0	8.0	2,95	1,37
S27	11	8	8.0	8.0	5,13	2,94
S28	11	7	8.0	8.0	4,48	2,16
S29	13	15	10.0	10.0	10,99	15,92
S30	12	9	8.0	8.0	6,07	3,66

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 15 - Resumo de barra de aço (Eberick)

Ø bitola (mm)	Peso Barra	Kg/m	Total de Barras	Valor Unitário	Total
8.0	4,74 kg	0,395	34	R\$ 43,00	R\$ 1.462,00
10.0	7,704	0,617	13	R\$ 63,00	R\$ 819,00

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 16 - Valor gasto em barras de aço

Barras	Eberick	Manual	Economia
Ø8.0	R\$ 1.462,00	R\$ 1.548,00	32,14%
Ø10.0	R\$ 819,00	R\$ -	
Total	R\$ 2.281,00	R\$ 1.548,00	

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Por fim, para a comparação do volume e peso próprio do concreto utilizou-se os valores obtidos na TAB. 17. Assim as variações entre os métodos encontram-se na TAB. 18. Onde os dados do volume foram alcançados pela Equação 20 de forma cônica e o do peso próprio pela Equação 21.

$$V_s = \left(\frac{H-h}{3}\right) * (A * B + a * b) + \sqrt{A * B * a * b} + (A * B * h) \text{ Equação 20}$$

Onde:

V_s : Volume da sapata;

H: Altura da sapata;

h: Sltura da aba da sapata;

A: Dimensão A da sapata;

B: Dimensão B da sapata;

a: Dimensão a do pilar;

b: Dimensão b do pilar.

$$P_p = p * V_s \text{ Equação 21}$$

Onde:

P_p : Peso próprio do concreto;

P: Peso específico do concreto;

V_s : Volume da sapa.

Tais variações entre os valores dos métodos distintos surgem devido a diferença das alturas da aba (h) e a altura da sapata (H), interferindo assim diretamente no volume do concreto e consequentemente no peso próprio do mesmo.

Tabela 17 - Dados para o cálculo do volume e peso próprio do concreto

Dimensões para o cálculo do volume e peso próprio do concreto								
Manual					Eberick			
Sapata	A	B	H	H	A	B	H	h
S4	140	115	35	15	140	115	40	20
S5	160	135	40	15	160	135	50	20
S6	135	110	35	15	135	110	40	20
S7	105	80	35	15	100	80	40	25
S10	170	145	45	15	170	145	45	20
S11	150	125	40	15	150	125	40	20
S12	190	165	50	20	190	165	50	20
S13	190	165	50	20	190	165	50	20
S14	120	95	35	15	120	95	40	20
S15	115	90	35	15	110	90	40	20
S16	145	120	35	15	145	120	40	20
S19	120	95	35	15	120	95	40	20
S20	130	105	35	15	130	105	40	20
S25	90	65	35	15	90	65	40	25
S26	80	55	35	15	80	55	40	30
S27	105	80	40	15	115	90	40	20
S28	100	75	35	15	100	75	40	25
S29	160	135	40	20	130	165	60	35
S30	125	100	35	15	125	100	40	20
	Diferença da dimensão na direção a;							
	Diferença da dimensão na direção b;							
	Diferença na altura da aba da sapata;							
	Diferença na altura da aba da sapata.							

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Tabela 18 - Variações do volume e peso próprio entre os métodos

Volume do concreto				
Método	Manual		Eberick	
Sapata	Volume(cm³)	PesoPróprio (tf)	Volume(cm³)	PesoPróprio (tf)
S4	0,374	0,934	0,454	1,135
S5	0,539	1,348	0,690	1,725
S6	0,346	0,864	0,420	1,050
S7	0,201	0,502	0,254	0,635
S10	0,661	1,652	0,735	1,839
S11	0,470	1,176	0,526	1,316
S12	0,990	2,475	0,99	2,475
S13	0,990	2,475	0,99	2,475
S14	0,268	0,671	0,325	0,814
S15	0,245	0,612	0,284	0,711
S16	0,403	1,006	0,490	1,224
S19	0,268	0,671	0,325	0,814
S20	0,319	0,797	0,387	0,968
S25	0,143	0,358	0,188	0,470
S26	0,110	0,275	0,154	0,385
S27	0,220	0,549	0,297	0,742
S28	0,181	0,425	0,239	0,597
S29	0,604	1,51	0,964	2,411
S30	0,293	0,733	0,356	0,889
TOTAL	7,625	19,033	9,068	22,675
	Diferença do volume de concreto;			
	Diferença do peso próprio;			
	Total das diferenças.			

Fonte: Elaborada no Excel pelo autor (2021)

Com a análise de todos os valores apresentados nas tabelas anexadas a cima, foi possível fazer um detalhamento de todas as variações dos cálculos dentre os quais:

Área da armadura:

- 30% na quantidade de aço (satisfatório para cálculo manual);
- 34% no peso do aço (satisfatório para cálculo manual);
- 15% no espaçamento entre as barras (satisfatório para o Eberick);
- 32,14% de economia no valor gasto em reais em barras de aço (satisfatório para o cálculo manual).

Concreto:

- 16% no volume (satisfatório para o cálculo manual);
- 16% no peso próprio (satisfatório para o cálculo manual).

Geometria da sapata:

- 59% na área da base na direção x (satisfatório para o cálculo manual);
- 47% na área da base na direção y (satisfatório para o cálculo manual).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme com os objetivos determinados por este estudo, alcançou-se resultados para fazer os comparativos entre os métodos manuais e computacionais, utilizando o *software Eberick*, onde ambos proporcionaram os dimensionamentos para as sapatas de fundações. É fato que o programa computacional *Eberick* possui vantagens como, eficiência e menos tempo gasto para o dimensionamento dos cálculos estruturais, em comparação com os cálculos manuais.

Porém os cálculos manuais apresentaram variações satisfatórias em termos de economia. As variações principais foram, 47% na área da base da sapata na direção y e 59% na direção x, 30% menor na quantidade de aço gasta, 34% a menos no peso de aço empregado, 16% a menos no volume do concreto e no seu peso próprio e principalmente uma economia de 32,14% em valores gastos com barras de aço. Por outro lado, expressou uma diferença no programa computacional *Eberick* de 15% menor comparado com o cálculo manual.

As principais causas dessas variações responsáveis pela maior economia ao cálculo manual são decorrentes das estimativas na geometria das sapatas pelos projetistas, surgindo assim diferenças nas alturas da aba e nas alturas da sapata. Outro fator que influenciou diretamente foi a escolha do diâmetro da barra de aço, onde o empregado sendo menor e seguindo a todos os parâmetros necessários e exigidos pelos cálculos obteve uma redução de custo.

Por fim, os projetistas devem compreender todos os cálculos necessários para o dimensionamento manual antes mesmo de compreender as manipulações do programa computacional *Eberick*. Assim os senso críticos com os resultados gerados pelos programas serão cada vez maiores proporcionando então, resultados melhores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Projeto Estrutural de Sapatas**. Santa Maria, 2007. 39 p. Universidade Federal de Santa Maria.

APL ENGENHARIA. **Entenda a importância das investigações geotécnicas para evitar patologias nas suas obras**, 2019. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/entenda-a-importancia-das-investigacoes-geotecnicas-para-evitar-patologias-nas-suas-obras/>. Acesso em: 29 de out 2021.

ARCENO, Matheus Furtado. **Dimensionamento Estrutural de Sapatas e Blocos de Coroamento**. Florianópolis, 2018. 200 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6484. Solo – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9603. Sondagem a Trado**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9604. Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de Fundação**. Bauru, 2019. 120 p. **Notas de Aula**. Universidade Estadual Paulista.

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de Fundações: Passo-a-Passo**. 1ª Edição. Brasília: Infrasolo, Fevereiro de 2015.

BITTENCOURT, Túlio; SOUZA, Rafael Alves de. **Análise, dimensionamento e verificação de elementos especiais em concreto armado utilizando o método os elementos finitos e o método das bielas**. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 15 p. 2006.

BUILDING. **Non - earthquake resistant structural frame**, 2021. Disponível em: <https://www.buildinghow.com/en-us/Products/Books/Volume-A/The-structural-frame/Structural-frame-behaviour/Beams-and-columns>. Acesso em: 28 out 2021.

CARVALHO, Maurício Dutra de. **Análise Comparativa Entre Fundação Superficial do Tipo Sapata Isolada e Radier Liso em Obra de Edificação**. Conselheiro Lafaiete, 2015. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Santa Rita.

COELHO, André M. **O que é Viga Baldrame?**. 2 Quartos. Disponível em: <https://www.2quartos.com/que-e-viga-baldrame/>. Acesso em: 29 out 2021.

CONTRAVENTAMENTO DE EDIFÍCIOS. Análise de Estruturas, 2008. Disponível em: <https://pilaresedificios.files.wordpress.com/2011/10/contraventamento-de-estruturas.pdf>. Acesso em: 28 out 2021.

CUNHA, Márcio Robeto da; MOURA, Everton Rodrigo de. **Análise da Classificação dos Blocos de Coroamento sobre Estacas Quanto à sua Rigidez, à luz do CEB-70 e da NBR 6118/2014**. Rio de Janeiro, 2018. 10 p. X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas.

CURY, Igor Soares; MORAES, Guilherme Henrique da Silva; FREITAS, Antônio Henrique Correa de. **Cálculos Estruturais em Concreto Armado: Comparativo entre o Cálculo Manual e com Auxílio de Software**. Belo Horizonte, 2014. 19 p. Faculdade Kennedy.

D'AGOSTINI, Giana Rachinski. **Estudo Comparativo de Sapatas Isoladas e Radier Flexível como Fundações em Casas Populares: Estudo de Caso**. Pato Branco, 2018. 124 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DARÓS, José. **Tipos de Fundações Rasas e Suas Características**. Utilizando BIM, 2020. Disponível em: <https://utilizandobim.com/blog/fundacoes-rasas/>. Acesso em: 08 nov 2021.

FERNANDA, Maria. **Dimensionamento de Sapata Rígida**. Natal, 2016. 41 p. Universidade Potiguar

FLAUSINO, Danilo. **Fundações: Tipos e Aplicações. Reform – Reparos & Reformas**, 2017. Disponível em: <https://reformweb.com.br/blog/post/12/Funda%C3%A7%C3%B5es%3A-Tipos-e-Aplica%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 08 nov 2021.

GONTIJO, Guilherme Batista. **Cálculo e Análise dos Momentos Fletores em Lajes de Concreto Armado**. Belo Horizonte, 2015. 47 p. Universidade Federal de Minas Gerais.

HENRIQUE, Vinícius; MATOS, Michael; OLIVEIRA, Diego; TADEU, José; VIANA, Vitor; VIEIRA, Rafael. **Fundações Profundas Tubulões a Céu Aberto e a Ar Comprimido**. São Paulo, 2014. 42 p. Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

JÚNIOR, Hernani Magela Duarte. **Dimensionamento de Sapatas de Fundação Através do Software Mathcad**. Ouro Branco, 2016. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São João Del – Rei Campus Alto Paraopeba.

JÚNIOR, Paulo Renato Ficks. **Projeto de Fundações por Sapatas Rígidas Dimensionadas por Software Estrutural Verificado por Metodologia Manual**. Porto Alegre, 2020. 152 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul.

LIMA, IvaEmanuely Pereira. **Análise Comparativa entre o Método de Cálculo Simplificado e de um Software Comercial no Dimensionamento de Lajes Maciças**. Delmiro Gouveia, 2018. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas.

LIMA, José Leonilo Romeu de Figueiredo. **Projeto Estrutural de Fundações Superficiais: Análise Crítica da Utilização de Programas Computacionais**. Araruna, 2015. 126 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba.

Manual Prático Para Auxiliar Na Coleta De Amostras De Solo, Folha, Nematoides E Sementes. Solum Laboratório, 2020. Disponível em: <https://www.solumlab.com.br/manual-pratico-de-coleta/>. Acesso em: 08 nov 2021.

PEIXOTO, Isabela. **Métodos de Investigação Geológica**. Igeológico, 2018. Disponível em: <http://igeologico.com.br/metodos-de-investigacao-geologica/>. Acesso em: 08 nov 2021.

PEREIRA, Caio. **Fundações Profundas**. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>. Acesso em 28 out 2021.

PEREIRA, Caio. **Sapatas de Fundação**. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao/>. Acesso em: 08 nov 2021.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.. **Aderência e Ancoragem**. São Carlos, 2003. 16 p. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

RIBEIRO, Otávio dos Santos Krauss. **Estudo Comparativo no Dimensionamento de um Edifício Utilizando o Cálculo Manual e Software Estruturais**. Viçosa, 2017. 20 p. Artigo Técnico. Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, Edja Laurindo da. **Análise dos Modelos Estruturais para Determinação dos Esforços Resistentes em Sapatas Isoladas**. São Carlos, 1998. 146 p. Dissertação. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de; RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas Estruturais de Edificações e Exemplos**. Campinas, 2008. 93 p. Universidade Estadual de Campinas.

Tipos De Fundação: Você Sabe Qual É O Ideal Para Sua Obra?. Cerâmica Constrular, 2020. Disponível em: <https://ceramicaconstrular.com.br/tipos-de-fundacao/>. Acesso em: 08 nov 2021.

UNICAMP. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Campinas, 2018. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf. Acesso em: 08 nov 2021.

Viga De Transição – Saiba O Que É E Como Funciona!. Meia Colher – Tudo Sobre Construção. Disponível em: <https://www.meiacolher.com/2017/07/viga-de-transicao-saiba-o-que-e-e-como.html>. Acesso em: 18 nov 2021.

ANEXO A - Tabela de Joppert

Tabela nº 13 - Parâmetros médios do solo						
Tipo de solo	Faixa de STP	Módulo de elasticidade (t/m²)	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m²)
			Natural (t/m³)	Saturado (t/m³)		
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	—
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	—
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	—
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	—
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	—
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica (quaternário)	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Fonte: Scribd(sem data)

ANEXO B - Resultados gerados pelo software Eberick

		AltoQi Eberick 2021 Plena		
		Daniel Salgarello - LUNA CONSTRUÇÕES ESTRUTURAL		17/11/2021 06:51:37
	5.72	5.45	0.00	0.00
S14	4136.51	3765.63	0.00	0.00
	5.00	4.74	0.00	0.00
S15	4193.55	3786.03	0.00	0.00
	5.05	4.75	0.00	0.00
S16	4023.06	3687.16	0.00	0.00
	4.91	4.69	0.00	0.00
S19	4136.51	3765.63	0.00	0.00
	5.00	4.74	0.00	0.00
S20	4086.78	3730.15	0.00	0.00
	4.96	4.71	0.00	0.00
S25	4419.89	4083.42	0.00	0.00
	5.38	5.13	0.00	0.00
S26	4618.73	4367.20	0.00	0.00
	6.20	5.86	0.00	0.00
S27	4164.02	3786.03	0.00	0.00
	5.02	4.75	0.00	0.00
S28	4354.59	4029.87	0.00	0.00
	5.33	5.10	0.00	0.00
S29	9366.59	8423.38	0.00	0.00
	7.70	7.30	0.00	0.00
S30	4110.82	3747.09	0.00	0.00
	4.98	4.73	0.00	0.00

Fonte: Salgarello (2021)

	AltoQi Eberick 2021 Plena	
	Daniel Salgarello - LUNA CONSTRUÇÕES ESTRUTURAL	17/11/2021 06:51:37

	Msd (kgf.m)		Msd (kgf.m)		Fsd (tf)		(tf)	(tf)
S4	12934.97 91.64	141.16 (lim = 1.50)	15739.05 244.21	64.45 (lim = 1.50)	7.25 0.37	19.52 lim = (1.50)		
S5	19728.69 117.58	167.79 (lim = 1.50)	23382.15 313.55	74.57 (lim = 1.50)	9.72 0.46	21.02 lim = (1.50)		
S6	11224.25 82.85	135.48 (lim = 1.50)	13775.21 220.93	62.35 (lim = 1.50)	6.68 0.68	9.89 lim = (1.50)		
S7	4353.81 44.20	98.49 (lim = 1.50)	5438.51 117.78	46.18 (lim = 1.50)	3.60 0.33	10.92 lim = (1.50)		
S10	24559.47 136.98	179.30 (lim = 1.50)	28793.86 365.27	78.83 (lim = 1.50)	11.09 0.60	18.40 lim = (1.50)		
S11	15906.32 102.90	154.58 (lim = 1.50)	19087.59 274.40	69.56 (lim = 1.50)	8.44 0.45	18.68 lim = (1.50)		
S12	35815.42 175.45	204.13 (lim = 1.50)	41242.00 467.87	88.15 (lim = 1.50)	14.11 1.14	12.37 lim = (1.50)		
S13	36587.29 180.13	203.12 (lim = 1.50)	42130.82 480.34	87.71 (lim = 1.50)	14.11 1.01	14.00 lim = (1.50)		
S14	7330.05 62.54	117.21 (lim = 1.50)	9259.01 166.76	55.52 (lim = 1.50)	5.13 1.50	3.42 lim = (1.50)		
S15	6144.96 55.64	110.44 (lim = 1.50)	7510.50 148.37	50.62 (lim = 1.50)	4.46 0.47	9.49 lim = (1.50)		
S16	14330.85 96.86	147.95 (lim = 1.50)	17316.44 258.30	67.04 (lim = 1.50)	7.83 1.30	6.00 lim = (1.50)		
S19	7258.14 61.78	117.48 (lim = 1.50)	9168.18 164.75	55.65 (lim = 1.50)	5.13 0.59	8.66 lim = (1.50)		
S20	9763.93 75.39	129.51 (lim = 1.50)	12088.68 201.04	60.13 (lim = 1.50)	6.14 0.45	13.67 lim = (1.50)		
S25	2389.23 29.42	81.22 (lim = 1.50)	3305.68 78.37	42.18 (lim = 1.50)	2.63 0.32	8.19 lim = (1.50)		
S26	1495.70 21.75	68.77 (lim = 1.50)	2175.56 57.99	37.51 (lim = 1.50)	1.98 0.41	4.87 lim = (1.50)		
S27	4647.11 38.40	121.01 (lim = 1.50)	5937.98 102.41	57.98 (lim = 1.50)	4.66 2.89	1.61 lim = (1.50)		
S28	3574.48 38.11	93.79 (lim = 1.50)	4765.98 101.63	46.90 (lim = 1.50)	3.38 1.46	2.31 lim = (1.50)		
S29	24091.11 116.33	207.09 (lim = 1.50)	18980.87 310.22	61.18 (lim = 1.50)	9.65 3.91	2.47 lim = (1.50)		
S30	8562.20 69.54	123.12 (lim = 1.50)	10702.75 185.45	57.71 (lim = 1.50)	5.63 1.71	3.29 lim = (1.50)		

Dimensionamento

Nome	Armaduras inferiores		Armaduras superiores	
	Dir. B	Dir. H	Dir. B	Dir. H
	Md (kgf.m/m) As (cm²/m)	Md (kgf.m/m) As (cm²/m)	Md (kgf.m/m) A's (cm²/m)	Md (kgf.m/m) A's (cm²/m)
S4	4043.02 4.93	3700.35 4.70	0.00 0.00	0.00 0.00
S5	6080.29 5.81	5516.80 5.50	0.00 0.00	0.00 0.00
S6	4064.22 4.94	3714.63 4.70	0.00 0.00	0.00 0.00
S7	4354.59 5.33	4007.71 5.09	0.00 0.00	0.00 0.00
S10	4922.89 5.32	4505.66 5.07	0.00 0.00	0.00 0.00
S11	4004.22 4.90	3674.95 4.68	0.00 0.00	0.00 0.00
S12	5931.36 5.72	5424.71 5.45	0.00 0.00	0.00 0.00
S13	5931.36	5424.71	0.00	0.00

Fonte: Salgarello (2021)

	AltoQi Eberick 2021 Plena	
	Daniel Salgarello - LUNA CONSTRUÇÕES ESTRUTURAL	17/11/2021 06:51:37

Relatório de Cálculos das Sapatas

INFERIOR	fck = 250.00 kgf/cm ²	E = 241500 kgf/cm ²	Peso Espec = 2500.00 kgf/m ³
Lance 1		cobr = 4.50 cm	

Esforços e pressões

Nome	MB MH (kgf.m)	FB FH (tf)	Carga Carga total (tf)	Pressão Sig1 (kgf/cm ²)	Pressão Sig2 (kgf/cm ²)	Pressão Sig3 (kgf/cm ²)	Pressão Sig4 (kgf/cm ²)
S4	91.64 244.36	0.34 0.19	18.33 22.50	1.43 (lim = 1.50)	1.49 (lim = 1.50)	1.36 (lim = 1.50)	1.30 (lim = 1.50)
S5	117.58 313.55	0.18 0.45	23.52 29.23	1.38 (lim = 1.50)	1.43 (lim = 1.50)	1.32 (lim = 1.50)	1.27 (lim = 1.50)
S6	82.85 220.93	0.38 0.59	16.57 20.41	1.40 (lim = 1.50)	1.46 (lim = 1.50)	1.33 (lim = 1.50)	1.27 (lim = 1.50)
S7	44.20 117.88	0.24 0.31	8.84 10.88	1.41 (lim = 1.50)	1.49 (lim = 1.50)	1.31 (lim = 1.50)	1.23 (lim = 1.50)
S10	136.98 365.27	0.14 0.60	27.40 33.88	1.40 (lim = 1.50)	1.44 (lim = 1.50)	1.34 (lim = 1.50)	1.29 (lim = 1.50)
S11	102.90 274.40	0.07 0.45	20.58 25.45	1.39 (lim = 1.50)	1.44 (lim = 1.50)	1.33 (lim = 1.50)	1.27 (lim = 1.50)
S12	175.45 467.88	0.13 1.14	35.09 43.41	1.41 (lim = 1.50)	1.45 (lim = 1.50)	1.36 (lim = 1.50)	1.32 (lim = 1.50)
S13	180.13 480.34	0.08 1.01	36.03 44.35	1.44 (lim = 1.50)	1.48 (lim = 1.50)	1.38 (lim = 1.50)	1.34 (lim = 1.50)
S14	62.56 166.83	0.26 1.49	12.51 15.44	1.39 (lim = 1.50)	1.46 (lim = 1.50)	1.32 (lim = 1.50)	1.25 (lim = 1.50)
S15	55.64 148.37	0.27 0.41	11.13 13.66	1.42 (lim = 1.50)	1.50 (lim = 1.50)	1.34 (lim = 1.50)	1.26 (lim = 1.50)
S16	96.86 258.30	0.69 1.18	19.37 23.88	1.41 (lim = 1.50)	1.46 (lim = 1.50)	1.34 (lim = 1.50)	1.28 (lim = 1.50)
S19	61.78 164.75	0.40 0.47	12.36 15.28	1.38 (lim = 1.50)	1.45 (lim = 1.50)	1.30 (lim = 1.50)	1.23 (lim = 1.50)
S20	75.39 201.04	0.03 0.45	15.08 18.60	1.40 (lim = 1.50)	1.46 (lim = 1.50)	1.33 (lim = 1.50)	1.26 (lim = 1.50)
S25	29.42 78.45	0.22 0.31	5.88 7.35	1.30 (lim = 1.50)	1.39 (lim = 1.50)	1.21 (lim = 1.50)	1.12 (lim = 1.50)
S26	21.75 58.00	0.08 0.41	4.35 5.44	1.28 (lim = 1.50)	1.39 (lim = 1.50)	1.19 (lim = 1.50)	1.08 (lim = 1.50)
S27	38.40 102.41	0.12 2.89	7.68 10.33	1.02 (lim = 1.50)	1.07 (lim = 1.50)	0.97 (lim = 1.50)	0.92 (lim = 1.50)
S28	38.11 101.63	0.04 1.46	7.62 9.53	1.31 (lim = 1.50)	1.39 (lim = 1.50)	1.23 (lim = 1.50)	1.15 (lim = 1.50)
S29	116.34 310.23	0.07 3.93	23.27 29.20	1.41 (lim = 1.50)	1.45 (lim = 1.50)	1.31 (lim = 1.50)	1.27 (lim = 1.50)
S30	69.54 185.45	0.07 1.71	13.91 17.12	1.41 (lim = 1.50)	1.47 (lim = 1.50)	1.33 (lim = 1.50)	1.27 (lim = 1.50)

Estabilidade

Nome	Tombamento B		Tombamento H		Deslizamento		Arrancamento	
	Mrd	Mrd / Msd	Mrd	Mrd / Msd	Frd	Frd / Fsd	Nt	Ns

Fonte: Salgarello (2021)

	AltoQi Eberick 2021 Plena	
	Daniel Salgarello - LUNA CONSTRUÇÕES ESTRUTURAL	17/11/2021 06:52:23

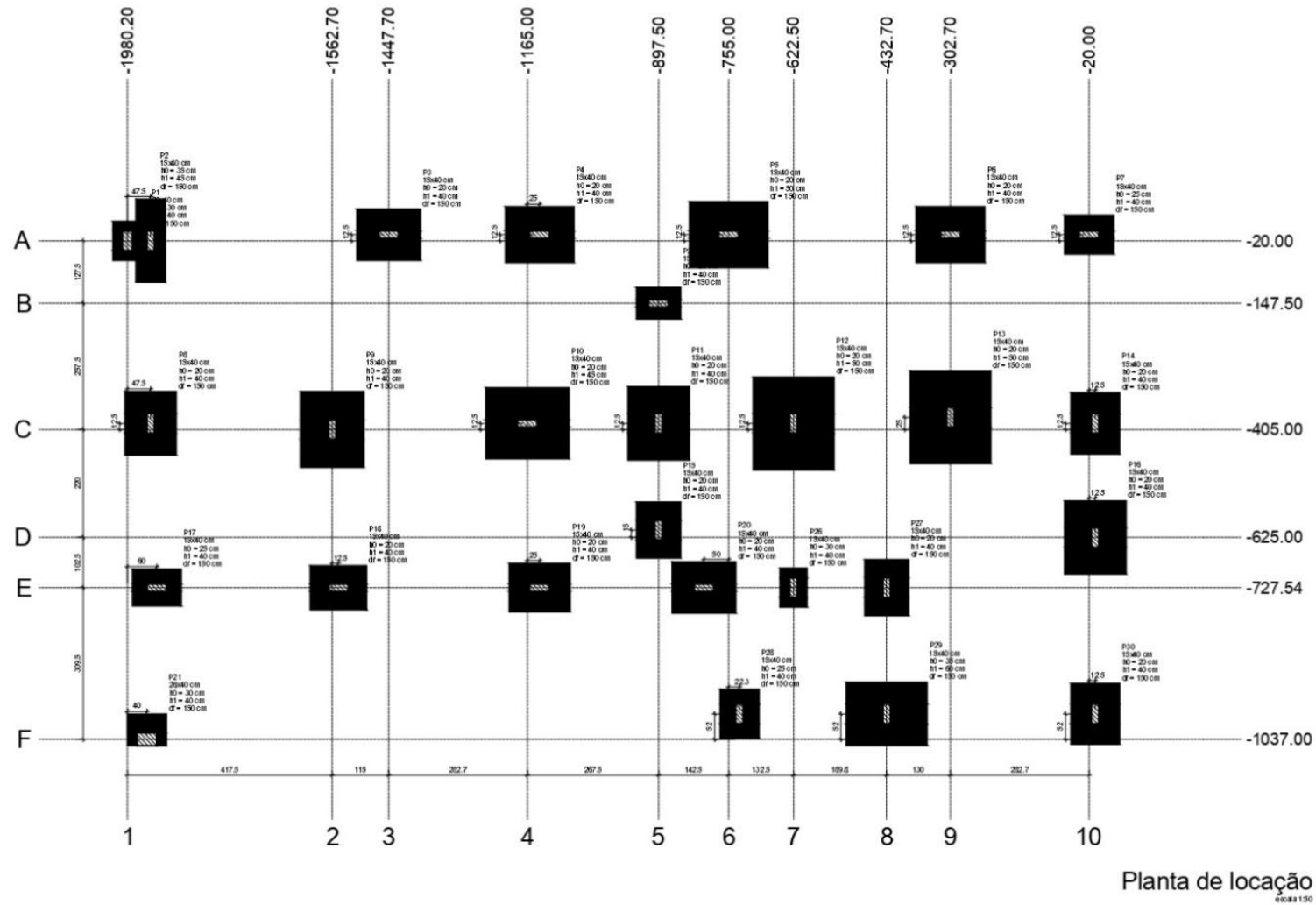
Relatório de Resultados das Sapatas

INFERIOR	fck = 250.00 kgf/cm ²	E = 241500 kgf/cm ²	Peso Espec = 2500.00 kgf/m ³
Lance 1		cobr = 4.50 cm	

Nome	Dimensões (cm)		Armaduras inferiores		Armaduras superiores	
	B H	H0 H1	Dir. B	Dir. H	Dir. B	Dir. H
S4	115.00 140.00	20.00 40.00	14 ø 8.0 c/10 (7.04 cm ²)	10 ø 8.0 c/11 (5.03 cm ²)		
S5	135.00 160.00	20.00 50.00	11 ø 10.0 c/14 (8.64 cm ²)	14 ø 8.0 c/9 (7.04 cm ²)		
S6	110.00 135.00	20.00 40.00	13 ø 8.0 c/10 (6.53 cm ²)	10 ø 8.0 c/11 (5.03 cm ²)		
S7	80.00 100.00	25.00 40.00	11 ø 8.0 c/9 (5.53 cm ²)	8 ø 8.0 c/10 (4.02 cm ²)		
S10	145.00 170.00	20.00 45.00	18 ø 8.0 c/9 (9.05 cm ²)	14 ø 8.0 c/10 (7.04 cm ²)		
S11	125.00 150.00	20.00 40.00	15 ø 8.0 c/10 (7.54 cm ²)	11 ø 8.0 c/11 (5.53 cm ²)		
S12	165.00 190.00	20.00 50.00	13 ø 10.0 c/14 (10.21 cm ²)	11 ø 10.0 c/15 (8.64 cm ²)		
S13	165.00 190.00	20.00 50.00	13 ø 10.0 c/14 (10.21 cm ²)	11 ø 10.0 c/15 (8.64 cm ²)		
S14	95.00 120.00	20.00 40.00	12 ø 8.0 c/10 (6.03 cm ²)	8 ø 8.0 c/11 (4.02 cm ²)		
S15	90.00 110.00	20.00 40.00	11 ø 8.0 c/10 (5.53 cm ²)	8 ø 8.0 c/11 (4.02 cm ²)		
S16	120.00 145.00	20.00 40.00	14 ø 8.0 c/10 (7.04 cm ²)	11 ø 8.0 c/11 (5.53 cm ²)		
S19	95.00 120.00	20.00 40.00	12 ø 8.0 c/10 (6.03 cm ²)	8 ø 8.0 c/11 (4.02 cm ²)		
S20	105.00 130.00	20.00 40.00	13 ø 8.0 c/10 (6.53 cm ²)	9 ø 8.0 c/11 (4.52 cm ²)		
S25	65.00 90.00	25.00 40.00	9 ø 8.0 c/9 (4.52 cm ²)	6 ø 8.0 c/10 (3.02 cm ²)		
S26	55.00 80.00	30.00 40.00	9 ø 8.0 c/8 (4.52 cm ²)	6 ø 8.0 c/9 (3.02 cm ²)		
S27	90.00 115.00	20.00 40.00	11 ø 8.0 c/10 (5.53 cm ²)	8 ø 8.0 c/11 (4.02 cm ²)		
S28	75.00 100.00	25.00 40.00	11 ø 8.0 c/9 (5.53 cm ²)	7 ø 8.0 c/10 (3.52 cm ²)		
S29	165.00 130.00	35.00 60.00	13 ø 10.0 c/10 (10.21 cm ²)	15 ø 10.0 c/11 (11.78 cm ²)		
S30	100.00 125.00	20.00 40.00	12 ø 8.0 c/10 (6.03 cm ²)	9 ø 8.0 c/11 (4.52 cm ²)		

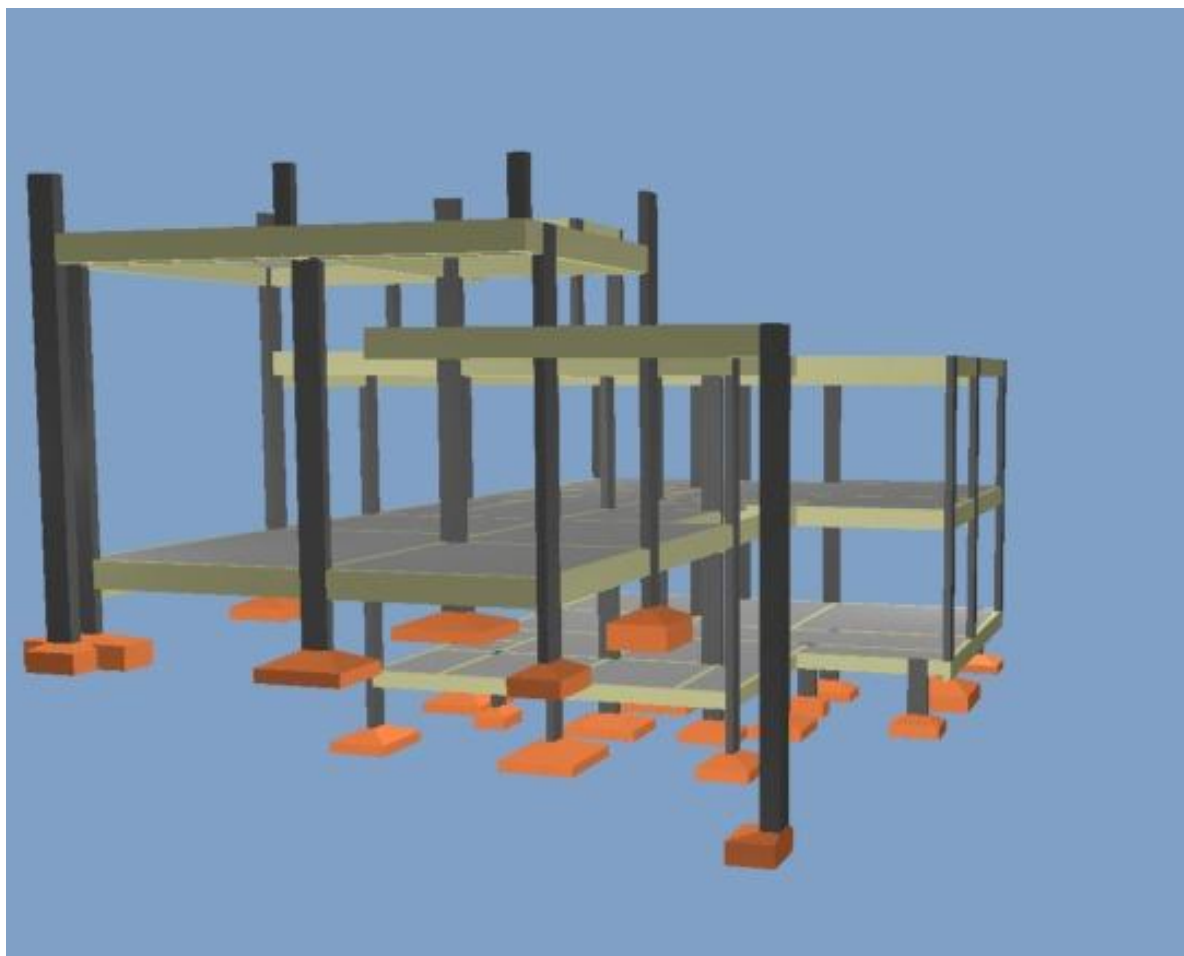
Fonte: Salgarello (2021)

ANEXO C- Planta de locação das sapatas no terreno (sem escala)



Fonte: Salgarello (2021)

ANEXO D - Representação da estrutura da edificação em 3D



Fonte: Salgarello (2021)

APÊNDICE A – Cálculos manuais

Dimensionamento do pilar 13 (P13)

Considerações feitas:

Dimensões do pilar: 15x40

Carga do pilar (P): 44,35 tf => 44.350 kgf

Tensão admissível: 1,5 kgf/cm²

Concreto: C25

Armadura: CA50

-Dimensionamento geométrico:

i) Estimativa da área da sapata

$$A = \frac{Pt}{\sigma_a}$$

$$A = \frac{1,1 \times 44.350}{1,5}$$

$$A = 32.523,33 \text{ cm}^2$$

$$a \times b = 32.523,33 \text{ cm}^2$$

Para que a distribuição de cargas seja uniforme

$$a - a_0 = b - b_0$$

$$a - b = a_0 - b_0$$

$$a - b = 40 - 15$$

$$a - b = 25$$

$$a = 25 + b$$

Substituindo em (i):

$$(25 + b) \times b = 32.523,33$$

$$b^2 + 25b - 32.523,33 = 0$$

$$\Delta = (25)^2 + 4 \times (32.523,33)$$

$$\Delta = 130718,32$$

$$b = \frac{-25 + \sqrt{130718,32}}{2}$$

$$b = 168,30 \text{ cm} \Rightarrow b = 170 \text{ cm}$$

Portanto:

$$a = 25 + 170$$

$$a = 195 \text{ cm}$$

Área real:

$$A = 170 \times 195$$

$$A = 33.150 \text{ cm}^2$$

ii) Altura da sapata:

*Para garantir a rigidez:

$$H \geq \frac{a - a_0}{3}$$

$$H \geq \frac{195 - 40}{3}$$

$$H \geq 50 \text{ cm}$$

iii) Altura da aba da sapata:

$$h \geq \frac{H}{3}$$

$$h \geq \frac{50}{3}$$

$$h \geq 20 \text{ cm}$$

iv) Comprimento de ancoragem necessário:

*Pela tabela:

$$l_b \text{ (com gancho)}: 26 * \varnothing_p = 26 * 1,0 = 26 \text{ cm}$$

$$l_b \text{ (sem gancho)}: 38 * \varnothing_p = 38 * 1,0 = 38 \text{ cm}$$

v) Cálculo da altura útil:

*Adotando para sapata o diâmetro imediatamente inferior ao pilar:

$$d = H - \text{Cobrimento} - \frac{\varnothing_s}{2}$$

$$d = 50 - 5 - \frac{0,8}{2}$$

$$d = 44,6 \text{ cm}$$

vi) Verificação do comprimento de ancoragem:

$$l_b < d$$

$$26 < 44,6$$

Como a altura útil disponível é maior que o comprimento de ancoragem, encontra-se ok!

- Dimensionamento do concreto:

i) Cálculo da tensão resistente de projeto:

$$\sigma_{Rd2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{F_{ck}}{250}\right) \times F_{cd}$$

$$\sigma_{Rd2} = 0,27 \times \left(1 - \frac{25}{250}\right) \times 17,86$$

$$\sigma_{Rd2} = 4,34 \text{ MPa}$$

ii) Cálculo da tensão solicitante de projeto:

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{sd}}{U_0 \times d}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{44.350}{((15 \times 2) + (40 \times 2)) \times 44,6}$$

$$\sigma_{sd} = 9,04 \text{ kgf/cm}^2 \Rightarrow 0,904 \text{ MPa}$$

iii) Verificação do concreto:

$$\sigma_{sd} < \sigma_{Rd2}$$

$$0,904 < 4,34$$

Dimensionamento das armaduras

Como a tensão resistente é maior que a solicitante, encontra-se ok!

Dimensionamento das armaduras (método das Bielas)

$$d \geq \frac{b - b_0}{4} = \frac{195 - 40}{4} = 38,75$$

$$44,6 \geq 38,75 \quad \text{ok!}$$

Cálculo da força de tração :

$$T_x = \frac{P_t \times (a - a_0)}{8 \times d} = \frac{1,1 \times 44350 \times (195 - 40)}{8 \times 44,6} = 21193,04 \text{ Kgf}$$

$$T_y = \frac{P_t \times (b - b_0)}{8 \times d} = \frac{1,1 \times 44350 \times (170 - 15)}{8 \times 44,6} = 21193,04 \text{ Kgf}$$

Cálculo da área de armadura

$$A_{sd} = \frac{1,61 \times T}{F_{yk}} = \frac{1,61 \times 21193,04}{5000} = 6,82 \text{ cm}^2$$

Número de barras

$$nb = \frac{A_{sd}}{\frac{\pi \times (\phi)^2}{4}} = \frac{6,82}{\frac{\pi \times (0,8)^2}{4}} = 13,60 = 14 \text{ barras}$$

Cálculo de espaçamento das barras

$$e_x = \frac{a - 2 \times Cob}{nb - 1} = \frac{195 - 2 \times 5}{14 - 1} = 14,23 \text{ cm}$$

$$e_y = \frac{b - 2 \times Cob}{nb - 1} = \frac{170 - 2 \times 5}{14 - 1} = 12,30 \text{ cm}$$

Cálculo da altura mínima do gancho

$$h \geq 8 \times \phi = 8 \times 0,8 = 6,4 \text{ cm}$$

Cálculo da excentricidade

$$e_x = \frac{M_y}{P} = \frac{180,13}{44350} = 0,0041 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{M_x}{P} = \frac{480,34}{44350} = 0,0108 \text{ m}$$

Cálculo do núcleo central de inércia (sapata retangular)

$$\frac{a}{6} = \frac{1,95}{6} = 0,33 \text{ m}$$

$$\frac{b}{6} = \frac{1,70}{6} = 0,30 \text{ m}$$

Como $0,33 > 0,0041$ e $0,30 > 0,0108$, então o diagrama de tensão é trapezoidal.

$$W_x = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{1,95 \times (1,70)^2}{6} = 0,95 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{1,70 \times (1,95)^2}{6} = 1,07 \text{ m}^3$$

Cálculo das tensões mínimas e máximas

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} = \frac{44,35}{3,3150} - \frac{0,18013}{0,95} - \frac{0,48034}{1,07} = 12,74 \text{ tf/m}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{44,35}{3,3150} + \frac{0,18013}{0,95} + \frac{0,48034}{1,07} = 14,02 \text{ tf/m}$$

14,02 < 15 está ok!

APÊNDICE B – Cálculos do Excel do dimensionamento manual

CARGAS					
PILAR	a0	b0	Nk (tf)	Mx (tf)	My (tf)
P1					
P2					
P3					
P4	40	15	22,50	0,09164	0,24436
P5	40	15	29,23	0,11758	0,31355
P6	40	15	20,41	0,08285	0,22093
P7	40	15	10,88	0,0442	0,11788
P8					
P9					
P10	40	15	33,88	0,13698	0,36527
P11	40	15	25,45	0,1029	0,2744
P12	40	15	43,41	0,17545	0,46788
P13	40	15	44,35	0,18013	0,48034
P14	40	15	15,44	0,06256	0,16683
P15	40	15	13,66	0,05564	0,14837
P16	40	15	23,88	0,09686	0,2583
P17					
P18					
P19	40	15	15,28	0,06178	0,16475
P20	40	15	18,60	0,07539	0,20104
P21					
P22					
P23					
P24					
P25	40	15	7,35	0,02942	0,07845
P26	40	15	5,44	0,02175	0,058
P27	40	15	10,33	0,0384	0,10241
P28	40	15	9,53	0,03811	0,10163
P29	40	15	29,20	0,11634	0,31023
P30	40	15	17,12	0,06954	0,18545

Fonte: Autoria própria (2021)

ESTIMATIVA GEOMÉTRICA														
A (cm²)	a - b (cm)	DELTA	b estimado (cm)	b adotado (cm)	a estimado (cm)	a adotado (cm)	A efetiva (cm²)	H estimado (cm)	H adotado (cm)	h estimado (cm)	h adotado (cm)	lb (com gancho) (cm)	d (cm)	lb < d
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
16500,00	25	66625,00	116,56	115	140	140	16100	33,33	35	11,67	15	26	29,6	OK
21435,33	25	86366,33	134,44	135	160	160	21600	40,00	40	13,33	15	26	34,6	OK
14967,33	25	60494,33	110,48	110	135	135	14850	31,67	35	11,67	15	26	29,6	OK
7978,67	25	32539,67	77,69	80	105	105	8400	21,67	35	11,67	15	26	29,6	OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
24845,33	25	100006,33	145,62	145	170	170	24650	43,33	45	15,00	15	26	39,6	OK
18663,33	25	75278,33	124,68	125	150	150	18750	36,67	40	13,33	15	26	34,6	OK
31834,00	25	127961,00	166,36	165	190	190	31350	50,00	50	16,67	20	26	44,6	OK
32523,33	25	130718,33	168,27	165	190	190	31350	50,00	50	16,67	20	26	44,6	OK
11322,67	25	45915,67	94,64	95	120	120	11400	26,67	35	11,67	15	26	29,6	OK
10017,33	25	40694,33	88,36	90	115	115	10350	25,00	35	11,67	15	26	29,6	OK
17512,00	25	70673,00	120,42	120	145	145	17400	35,00	35	11,67	15	26	29,6	OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
11205,33	25	45446,33	94,09	95	120	120	11400	26,67	35	11,67	15	26	29,6	OK
13640,00	25	55185,00	104,96	105	130	130	13650	30,00	35	11,67	15	26	29,6	OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
0,00	0	0,00	0,00		0		0	0,00		0,00		26	-5,4	NÃO OK
5390,00	25	22185,00	61,97	65	90	90	5850	16,67	35	11,67	15	26	29,6	OK
3989,33	25	16582,33	51,89	55	80	80	4400	13,33	35	11,67	15	26	29,6	OK
7575,33	25	30926,33	75,43	80	105	105	8400	21,67	40	13,33	15	26	34,6	OK
6988,67	25	28579,67	72,03	75	100	100	7500	20,00	35	11,67	15	26	29,6	OK
21413,33	25	86278,33	134,37	135	160	160	21600	40,00	40	13,33	20	26	34,6	OK
12554,67	25	50843,67	100,24	100	125	125	12500	28,33	35	11,67	15	26	29,6	OK

Fonte: Autoria própria (2021)

DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO COMPOSTA										
ex (m)	ey (m)	a/6 (m)	b/6 (m)	a/6 < ex	b/6 < ey	Wx (m²)	Wy (m²)	Tmín (tf)	Tmáx (tf)	Tmáx < Ta
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
0,0109	0,0041	0,2333	0,1917	OK	OK	0,31	0,38	13,03	14,92	OK
0,0107	0,0040	0,2667	0,2250	OK	OK	0,49	0,58	12,75	14,32	OK
0,0108	0,0041	0,2250	0,1833	OK	OK	0,27	0,33	12,78	14,71	OK
0,0108	0,0041	0,1750	0,1333	OK	OK	0,11	0,15	11,76	14,15	OK
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
0,0108	0,0040	0,2833	0,2417	OK	OK	0,60	0,70	12,99	14,50	OK
0,0108	0,0040	0,2500	0,2083	OK	OK	0,39	0,47	12,72	14,42	OK
0,0108	0,0040	0,3167	0,2750	OK	OK	0,86	0,99	13,17	14,52	OK
0,0108	0,0041	0,3167	0,2750	OK	OK	0,86	0,99	13,45	14,84	OK
0,0108	0,0041	0,2000	0,1583	OK	OK	0,18	0,23	12,47	14,62	OK
0,0109	0,0041	0,1917	0,1500	OK	OK	0,16	0,20	12,09	14,30	OK
0,0108	0,0041	0,2417	0,2000	OK	OK	0,35	0,42	12,83	14,62	OK
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
0,0108	0,0040	0,2000	0,1583	OK	OK	0,18	0,23	12,34	14,47	OK
0,0108	0,0041	0,2167	0,1750	OK	OK	0,24	0,30	12,63	14,62	OK
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	0,0000	0,0000	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00	0,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
0,0107	0,0040	0,1500	0,1083	OK	OK	0,06	0,09	11,21	13,92	OK
0,0107	0,0040	0,1333	0,0917	OK	OK	0,04	0,06	10,84	13,89	OK
0,0099	0,0037	0,1750	0,1333	OK	OK	0,11	0,15	11,26	13,34	OK
0,0107	0,0040	0,1667	0,1250	OK	OK	0,09	0,13	11,49	13,93	OK
0,0106	0,0040	0,2667	0,2250	OK	OK	0,49	0,58	12,74	14,30	OK
0,0108	0,0041	0,2083	0,1667	OK	OK	0,21	0,26	12,65	14,74	OK

Fonte: Autoria própria (2021)

CONCRETO	
Tc (MPa)	Tc < Rd
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
0,69	OK
0,77	OK
0,63	OK
0,33	OK
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
0,78	OK
0,67	OK
0,88	OK
0,90	OK
0,47	OK
0,42	OK
0,73	OK
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
0,47	OK
0,57	OK
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!
0,23	OK
0,17	OK
0,27	OK
0,29	OK
0,77	OK
0,53	OK

Fonte: Autoria própria (2021)

ARMADURA												
Verificação do método	Tx (kgf)	Ty	Asx (cm²)	Asy (cm²)	nbx	nby	nbx adotado	nby adotado	ex (cm)	ey	h gancho	h gancho
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
OK	10451,85811	10451,85811	3,37	3,37	6,70	6,70	10	7	12,00	14,00	6,4	6,4
OK	13939,16185	13939,16185	4,49	4,49	8,93	8,93	10	10	14,00	11,50	6,4	6,4
OK	9006,946791	9006,946791	2,90	2,90	5,77	5,77	10	10	11,50	9,00	6,4	6,4
OK	3285,135135	3285,135135	1,06	1,06	2,10	2,10	7	5	12,57	13,00	6,4	6,4
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
OK	15293,05556	15293,05556	4,92	4,92	9,80	9,80	15	12	9,67	10,25	6,4	6,4
OK	11125,18064	11125,18064	3,58	3,58	7,13	7,13	11	10	11,73	10,50	6,4	6,4
OK	20074,6917	20074,6917	6,46	6,46	12,86	12,86	10	10	17,00	14,50	6,4	6,4
OK	20509,38901	20509,38901	6,60	6,60	13,14	13,14	10	12	17,00	11,92	6,4	6,4
OK	5737,837838	5737,837838	1,85	1,85	3,68	3,68	8	7	12,75	11,14	6,4	6,4
OK	4759,079392	4759,079392	1,53	1,53	3,05	3,05	7	5	14,00	15,00	6,4	6,4
OK	11647,55068	11647,55068	3,75	3,75	7,46	7,46	11	10	11,27	10,00	6,4	6,4
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
OK	5678,378378	5678,378378	1,83	1,83	3,64	3,64	8	6	12,75	13,17	6,4	6,4
OK	7776,182432	7776,182432	2,50	2,50	4,98	4,98	8	8	14,00	10,88	6,4	6,4
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
NÃO OK	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00			#DIV/0!	#DIV/0!		
OK	1707,136824	1707,136824	0,55	0,55	1,09	1,09	5	5	15,00	10,00	6,4	6,4
OK	1010,810811	1010,810811	0,33	0,33	0,65	0,65	5	4	13,00	10,25	6,4	6,4
OK	2668,334538	2668,334538	0,86	0,86	1,71	1,71	7	8	12,57	7,75	6,4	6,4
OK	2656,165541	2656,165541	0,86	0,86	1,70	1,70	6	5	14,00	12,00	6,4	6,4
OK	13924,85549	13924,85549	4,48	4,48	8,92	8,92	12	11	11,50	10,36	6,4	6,4
OK	6759,797297	6759,797297	2,18	2,18	4,33	4,33	9	7	11,78	11,86	6,4	6,4

Fonte: Autoria própria (2021)